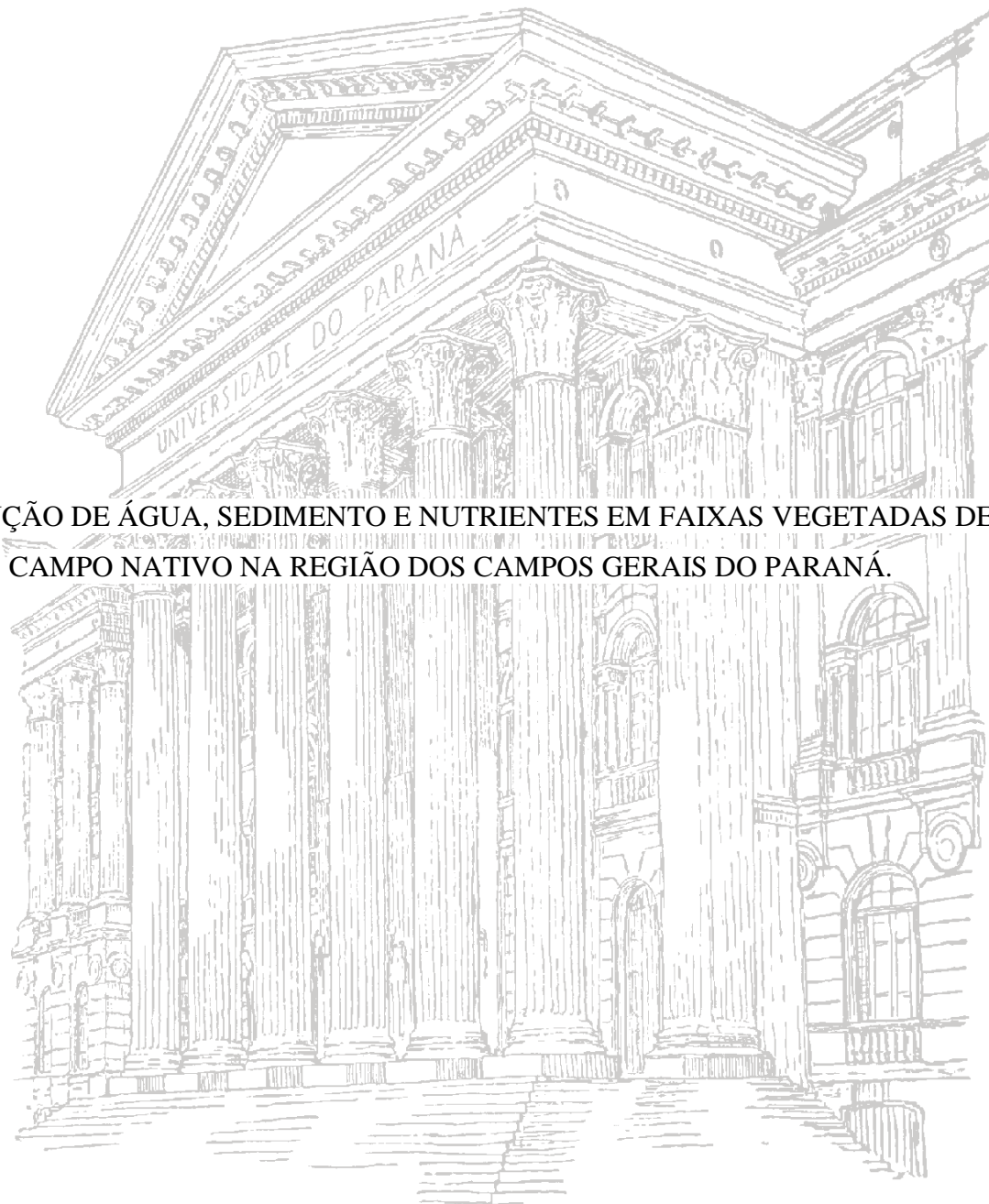


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO RODRIGO BORTOLOZO

RETENÇÃO DE ÁGUA, SEDIMENTO E NUTRIENTES EM FAIXAS VEGETADAS DE
CAMPO NATIVO NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ.



CURITIBA

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO RODRIGO BORTOLOZO

RETENÇÃO DE ÁGUA, SEDIMENTO E NUTRIENTES EM FAIXAS VEGETADAS DE
CAMPO NATIVO NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Sedimento, Área de Concentração em Pedologia e Manejo, Linha de Pesquisa Física, Manejo e Qualidade do Solo e da Água, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dra. Nerilde Favaretto

Co-Orientadores: Dr. Jeferson Dieckow

CURITIBA

2010



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648
Página: www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/
E-mail: pgcsolo@ufpr.br

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **FERNANDO RODRIGO BORTOLOZO**, sob o título: **"Retenção de água, sedimento e nutrientes em faixas vegetadas de campo nativo na região dos Campos Gerais do Paraná"**, requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Pedologia e Manejo do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Pedologia e Manejo do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 23 de agosto de 2010.

Prof. Dr. Nerilde Favaretto, Presidente.

Prof. Dr. Anibal de Moraes, Iº. Examinador.

Prof. Dr. Jeferson Dieckow, IIº. Examinador.

Prof. Dra. Fabiane Machado Vezzani, IIIª. Examinadora.



*“Dedico este trabalho aos meus pais **Hildemar e Dolores**, a quem tenho eterna admiração e carinho, a minha querida irmã **Aline** e ao amor da minha vida **Ananda**, pelo carinho e apoio em todos os instantes da minha vida.”*

*“E principalmente a **DEUS** simplesmente pelo dom da vida.”*

AGRADECIMENTOS

A DEUS por estar conosco durante as dificuldades que encontramos no caminho, nos trazendo paz nos momentos de angústia, e colocando amigos verdadeiros em nossas vidas.

Aos meus pais, Hildemar e Dolores, pessoas a quem admiro, respeito e amo.

A minha única irmã, Aline, uma verdadeira amiga.

A minha namorada Ananda, por todo carinho e compreensão durante esta fase da minha vida.

A Prof^a Dr^a Nerilde Favaretto, pela orientação, compreensão, companheirismo e pela dedicação.

Ao meu Co-orientador, Prof. Dr. Jeferson Dieckow, pelas sugestões e ajuda na concretização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Aníbal de Moraes, pelo incentivo e apoio na realização deste trabalho.

A todos os professores do curso de pós-graduação em Ciência do Solo, em especial ao Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, e ao Prof. Dr. Franklin Galvão do departamento de Pós Graduação em engenharia Florestal por dividir comigo suas experiências profissionais, conhecimentos e amizade.

A todos os funcionários do Setor, pelo auxílio dado durante a realização deste trabalho, em especial a Elda, Maria, Cleusa, Gerson, Aldair, Roberto e José Roberto e Reginaldo.

Aos proprietários da Fazenda Jacaré, Roberto e Vicente, pela amizade e pela disponibilização das áreas para a realização deste estudo.

À Universidade Federal do Paraná, por intermédio do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

A CNPQ, pelo auxílio financeiro.

Aos graduandos que ajudaram nos trabalhos de campo, em especial ao Maico e Juliano.

A todos os colegas de mestrado Fabiana, Michele, Ana Paula, Lury, Daniel, Patrícia, em especial a Jonatas, Lucio e Tales, pelos momentos de alegria, diversão, trabalho e às vezes tristeza compartilhados durante todo este período.

Enfim a todas as pessoas que de algum modo colaboraram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

A todos o meu muito obrigado!

RESUMO

Faixas vegetadas têm sido intensamente recomendadas para reduzir o transporte de sedimentos e nutrientes no escoamento superficial em áreas agrícolas. O objetivo deste estudo foi avaliar a retenção de água, sedimento, N-total, N-NH_4^+ , N-NO_3^- , N-particulado, P-total, P-solúvel, P-particulado e P-biodisponível contidos em escoamento superficial simulado na região dos Campos Gerais do Estado do Paraná, em Cambissolo com textura franco argilo-arenosa, com 10 % de declive. As 12 unidades experimentais, dispostas inteiramente ao acaso, foram delimitadas com chapas de zinco e constituídas por 5, 10, 20 e 30 m de largura. As parcelas foram alocadas no sentido do declive sendo a extremidade inferior (último metro) construído em “V”, possibilitando a coleta do escoamento em baldes de 12 litros, canalizado por um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro. A concentração de sedimento aplicada foi de $3,22 \text{ g L}^{-1}$ e a de nutrientes foi: de $62,2 \text{ mg L}^{-1}$; $40,9 \text{ mg L}^{-1}$ e $170,3 \text{ mg L}^{-1}$, de P, N-NH_4^+ e N-NO_3^- , respectivamente. Para simular o escoamento superficial aplicou-se em todas as parcelas uma vazão de 300 L min^{-1} equivalente a uma lâmina de água de 60 mm h^{-1} em 30 m^2 . A coleta do escoamento superficial ocorreu durante 2 horas a cada 10 minutos, gerando 144 amostras. Foi retirada uma amostra representativa a cada tempo de coleta a qual era acondicionada em garrafas plásticas de 500 mL sendo congeladas para posterior análise química dos nutrientes nas diferentes formas. As maiores reduções nas concentrações médias ponderadas de sedimento, nitrogênio e fósforo para todas as formas analisadas foram de 54, 58 e 49 %, respectivamente. Para água, sedimento, nitrogênio e fósforo, as maiores retenções acumuladas médias foram de 66, 85, 84 e 84 %, respectivamente, comprovando a eficácia das faixas vegetadas, principalmente as de 30 m de largura. Assim, pode-se afirmar que as faixas vegetadas são práticas conservacionistas adequadas para a retenção de água, sedimento e poluentes associados advindos de áreas agrícolas.

Palavras chaves: Escoamento superficial, poluição difusa, nutrientes, sedimentos.

SUMMARY

Vegetative filter strips have been recommended to reduce the transport of sediment and nutrients in agricultural areas. The objective of this study was to evaluate the retention of water, sediment, total N, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, particulate P, total P, soluble P and bioavailable P in runoff simulated in the region of Campos Gerais, Parana State, in Cambisol with a sandy-clay loam texture with 10% slope. The 12 plots, completely randomized, were delimited with zinc sheets and consist of 5, 10, 20 and 30 m wide. The plots were allocated following the slope and the lower end (last meter) constructed by the "V", enabling the collection of runoff in 12 L buckets, channeled by a PVC tube 75 mm in diameter. The sediment concentration applied was 3.22 g L^{-1} and nutrients were: 62.2 mg L^{-1} , 40.9 mg L^{-1} and 170.3 mg L^{-1} , of P, $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$, respectively. To simulate the runoff was applied on all plots a flow of 300 L min^{-1} equivalent to a water depth of 60 mm h^{-1} in 30 m^2 . The runoff sampling occurred during 2 hours each 10 minutes, generating 144 samples. A sample representative of each sampling time reserved in plastic bottles of 500 mL was frozen for subsequent chemical analysis of nutrients. The largest reductions in the weighted average concentrations of sediment, nitrogen and phosphorus in all forms examined were 54, 58 and 49 % respectively. For water, sediment, nitrogen and phosphorus, the major deductions in the accumulated averages were 66, 85, 84 and 84 %, respectively, proving the effectiveness of the vegetative filter strips, especially the 30 m wide. Thus, one can say that the vegetative filter strips are appropriate conservation practices for the retention of water, sediment and associated pollutants coming from agricultural areas.

Keywords: Surface runoff, diffuse pollution, nutrients, sediments.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. a) Parcela delimitada; b) Estrutura para simulação; c) Registro para regular vazão; d) Estrutura para distribuir o escoamento; e) Coleta do escoamento; f) Amostras de escoamento superficial, em Porto Amazonas-PR. 21

Figura 2. a) Local de coleta do solo; b) Profundidade de coleta do solo (10 cm); c) Peneiramento do solo; d) Pesagem e armazenamento do solo em sacos plásticos; e) Pré-mistura dos fertilizantes solúveis; f) Peneiramento do solo em malha menor, em Porto Amazonas, PR..... 23

Figura 3. Retenção de água em cada largura de faixa vegetada de campo nativo em cada tempo de coleta, onde, $f = \text{faixa vegetada}$ e $t = \text{tempo de coleta}$ 25

Figura 4. Retenção acumulada de água para cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação 26

Figura 5. Redução da concentração média ponderada de sedimento para cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação 28

Figura 6. Retenção de sedimento em cada largura de faixa vegetada de campo nativo em cada tempo de coleta, onde: $f = \text{Largura de faixa vegetada}$; $t = \text{tempo de coleta}$ 29

Figura 7. Retenção acumulada de sedimento para cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação 30

Figura 8. Redução da concentração média ponderada de N-total(a), N-NH_4^+ (b), N-NO_3^- (c) e N-Particulado (d) em cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação 44

Figura 9. Retenção de N-NO_3^- (a) e de N-NH_4^+ (b) em cada largura de faixa vegetada de campo nativo em cada tempo de coleta, onde, $f = \text{faixa vegetada}$ e $t = \text{tempo de coleta}$ 46

Figura 10. Retenção acumulada de N-TOTAL(a), N-NH₄⁺(b), N-NO₃⁻(c) e N-Particulado (d) para cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação..... 48

Figura 11. Redução da concentração média ponderada de P-total (a), P-solúvel (b), P-particulado (c) e P-biodisponível (d) em cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação..... 52

Figura 12. Retenção no tempo de P-total em (a) e de P-Solúvel em (b) em cada largura de faixa vegetada de campo nativo, em cada tempo de coleta, onde: *f* = faixa vegetada e *t* = tempo de coleta..... 54

Figura 13. Retenção acumulada de P-TOTAL (a), P-solúvel (b), P-particulado (c) e P-biodisponível (d), para cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação..... 57

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Granulometria, índice de estabilidade de agregados (IEA), densidade do solo (Ds), microporosidade, macroporosidade e porosidade total, e diâmetro médio ponderado úmido (DMPu) e diâmetro médio ponderado úmido (DMPs) do solo da área experimental.	20
Tabela 2. Parâmetros químicos do solo da área experimental.	20

SUMARIO

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL.....	12
LITERATURA CITADA	14
CAPITULO 2 - LARGURAS DE FAIXAS VEGETADAS DE CAMPO NATIVO: RETENÇÃO DE SEDIMENTO E ÁGUA.	15
1.RESUMO.....	15
2. ABSTRACT.....	16
3. INTRODUÇÃO	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1. Caracterização geral da área	19
4.2. Caracterização física e química do solo.....	19
4.3. Tratamentos e construção das parcelas	21
4.4. Preparo do escoamento superficial simulado.....	21
4.5. Coleta do escoamento e determinação da perda de água e solo	23
4.6. Análise estatística	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.1. Retenção do escoamento superficial.....	24
5.2. Retenção do sedimento	27
6. CONCLUSÕES	31
7. LITERATURA CITADA	32
CAPITULO 3 - LARGURAS DE FAIXAS VEGETADAS DE CAMPO NATIVO: RETENÇÃO DE NITROGÊNIO E FOSFORO.	35
1. RESUMO.....	35
2. ABSTRACT.....	36
3. INTRODUÇÃO.....	37
4. MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1. Análises da água do escoamento superficial.....	39
4.2. Determinação do nitrogênio.....	39
4.3. Determinação do fósforo	40
4.4. Análise estatística	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1. Concentração e retenção de nitrogênio	41
5.2. Concentração e retenção de fósforo.....	49
6. CONCLUSÕES	57
7. LITERATURA CITADA	58

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL

O desenvolvimento econômico agrícola, nas últimas décadas, tem sido caracterizado pelo intenso uso dos recursos naturais e alto consumo de fertilizantes com o intuito de maximizar os ganhos no processo produtivo. Nesta atividade exploratória, as áreas agrícolas, quando mal manejadas, tornam-se fontes potencialmente poluidoras das águas superficiais.

As cargas poluidoras chegam às águas superficiais de maneira intermitente e estão associadas a diversos fatores como uso e ocupação do solo, variações das precipitações pluviométricas, relevo e ausência de práticas conservacionistas. As partículas de solo desagregadas pela ação da chuva são transportadas com grande facilidade em encostas com declives acentuados, principalmente, em regiões de clima úmido. O escoamento superficial, além de conter nutrientes na forma particulada, ou seja, adsorvidos as partículas do solo, contem também nutrientes na forma solúvel, ou seja, prontamente biodisponível e responsável pela eutrofização dos rios a curto prazo. Nutrientes na forma particulada também serão disponibilizados às plantas aquáticas, mas representam uma fonte de longo prazo.

A vegetação ciliar desempenha um papel fundamental na preservação da qualidade da água, funcionando como um filtro na retenção da poluição difusa, representada pelo escoamento superficial e seus poluentes associados. Estudos conduzidos em regiões de clima temperado demonstraram a eficiência da vegetação ribeirinha na retenção da poluição difusa, as quais, se usadas adequadamente promovem retenções de 70 a 99% dos poluentes que chegariam aos rios, garantindo desta forma a melhoria da qualidade da água (DOSSKEY, 2001). Além da vegetação ciliar, o uso de faixas vegetadas de gramíneas tem sido intensamente recomendado dentro do conjunto das melhores práticas conservacionistas. O consórcio da vegetação ciliar com as faixas vegetadas de gramíneas destaca-se pela importância de sua utilização durante o tempo de recomposição da mata ciliar. Neste período, onde a eficiência de retenção da mata ciliar é baixa, as faixas vegetadas de gramíneas têm papel fundamental na manutenção da qualidade das águas superficiais.

Outra forma de uso das faixas vegetadas de gramíneas é por meio da sua distribuição em nível em toda a extensão das áreas cultivadas, funcionando como terraços naturais que reduzem

o volume do escoamento superficial e minimizam os impactos negativos da erosão na degradação do solo dentro da própria área agrícola.

Atualmente, os estudos do uso combinado de vegetação ciliar e faixas de gramíneas tiveram grandes avanços nos E.U.A. (LOWRANCE ET AL, 2005). O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-NRCS) sugere a utilização de três zonas com diferentes tipos de vegetação na composição da vegetação ciliar para controle da poluição difusa, com 6 m de floresta primária estendendo-se desde a margem do rio, seguido por 3 m de vegetação arbustiva e 6 m de vegetação com gramíneas entre arbustos até a beira da área agrícola (WELSCH, 1991).

No Brasil as larguras da faixa da vegetação ciliar são definidas pelo código florestal de 1965 (BRASIL, CÓDIGO FLORESTAL, 1965) e resolução do CONAMA 303/2002 (BRASIL, 2002), a qual toma como base a largura do rio para determinar a largura correspondente de vegetação ciliar. Assim, para os cursos d'água com larguras menores que 10 metros a largura mínima de vegetação ciliar correspondente é de 30 metros.

A região dos Campos Gerais do Estado do Paraná é caracterizada por uma vegetação herbácea com gramíneas distribuídas entre arbustos de pequeno porte (ALONSO, 1977). As margens dos rios apresentam uma estreita faixa de vegetação arbórea lenhosa seguida de arbustos e gramínea que quando adequada a largura definida pela legislação vigente no Brasil apresenta uma estratificação vegetal ciliar parecida com o modelo recomendado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-NRCS). Esta estratificação da vegetação com a presença de gramíneas favorece o processo de retenção de poluentes, protegendo com mais eficácia as águas superficiais.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a retenção de sedimentos, água e nutrientes em quatro larguras de faixas vegetadas de campo nativo, na região dos Campos Gerais do Estado do Paraná, visando contribuir para a avaliação de mitigação da contaminação das águas superficiais por potenciais fontes poluidoras agrícolas.

Esta dissertação é dividida em capítulos, sendo o primeiro capítulo constituído por uma introdução geral, o segundo e o terceiro representam os artigos científicos a serem publicados, e o quarto refere-se à conclusão geral.

LITERATURA CITADA

ALONSO, M.T.A. Vegetação. In: **Geografia do Brasil. Região Sul. Rio de Janeiro**, IBGE, 5:81-110, 1977.

BRASIL - Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 303. **Diário Oficial da União** de 20/03/2002. Brasília, 2002.

BRASIL. Lei Federal 4.771. **Código Florestal Brasileiro e suas alterações**. Brasília, 1965.

LOWRANCE, R.; SHERIDAN, J. M. Surface runoff water quality in a managed three zone riparian buffer. **Journal Environmental Quality**, 34:1851–1859, 2005.

LUDOVICE, M. T. F. **Influência de faixa filtro de brachiaria decumbens na retenção de atrazina, nutrientes e sedimentos em escoamento superficial**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, SP, 2003.

DOSSKEY, M.G. Toward quantifying water pollution abatement in response to installing buffers on crop land. **Environment Manage**, 28:577-598, 2001.

WELSCH, D.J. Riparian forest buffers: Function, and design for protection and enhancement of water resources. **USDA Forest Service. Northeastern Area**. NA-PR-07-91. p. 23, 1991. Disponível em: http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/n_resource/buffer/cover.htm, acesso em: 22/11/2009.

CAPITULO 2 - LARGURAS DE FAIXAS VEGETADAS DE CAMPO NATIVO: RETENÇÃO DE SEDIMENTO E ÁGUA.

1.RESUMO

Faixas vegetadas têm sido intensamente recomendadas para reduzir o transporte de sedimentos e nutrientes no escoamento superficial em áreas agrícolas. O objetivo deste estudo foi avaliar a retenção de sedimento e água em escoamento superficial simulado na região dos Campos Gerais do Estado do Paraná, em Cambissolo com textura franco argilo-arenosa, com 10 % de declive. As 12 unidades experimentais, dispostas inteiramente ao acaso, foram delimitadas com chapas de zinco e constituídas por 5, 10, 20 e 30 m de largura. As parcelas foram alocadas no sentido do declive sendo a extremidade inferior (último metro) construído em “V”, possibilitando a coleta do escoamento em baldes de 12 litros, canalizado por um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro. A concentração de sedimento aplicada foi de $3,22 \text{ g L}^{-1}$ e a de nutrientes foi de $62,2 \text{ mg L}^{-1}$; $40,9 \text{ mg L}^{-1}$ e $170,3 \text{ mg L}^{-1}$, de P, N-NH_4^+ e N-NO_3^- , respectivamente. Para simular o escoamento superficial aplicou-se em todas as parcelas uma vazão de 300 L min^{-1} equivalente a uma lâmina de água de 60 mm h^{-1} em 30 m^2 . A coleta do escoamento superficial ocorreu durante 2 horas a cada 10 minutos, gerando 144 amostras. As maiores retenções acumuladas de água (66 %) e de sedimento (84 %) foram obtidas pela faixa vegetada de campo nativo de 30 m de largura. No entanto, a faixa vegetada de 10 m de largura foi altamente eficiente, proporcionando uma retenção acumulada de 50 e 75 % de água e sedimento, respectivamente, valores próximos aos obtidos pela faixa de 30 m. Assim, a faixa de 10 m de largura, pela sua elevada eficiência, aliada a economia de área agrícola, apresenta um maior potencial de aceitação junto produtores rurais, facilitando a difusão desta prática conservacionista na agricultura.

Palavras chaves: Escoamento superficial, sedimentos e erosão hídrica.

2. ABSTRACT

Vegetative filter strips have been recommended to reduce the transport of sediment and nutrients in agricultural areas. The objective of this study was to evaluate the retention of water, sediment, total N, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, particulate P, total P, soluble P and bioavailable P in runoff simulated in the region of Campos Gerais, Parana State, in Cambisol with a sandy-clay loam texture with 10% slope. The 12 plots, completely randomized, were delimited with zinc sheets and consist of 5, 10, 20 and 30 m wide. The plots were allocated following the slope and the lower end (last meter) constructed by the "V", enabling the collection of runoff in 12 L buckets, channeled by a PVC tube 75 mm in diameter. The sediment concentration applied was 3.22 g L^{-1} and nutrients were: 62.2 mg L^{-1} , 40.9 mg L^{-1} and 170.3 mg L^{-1} , of P, $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$, respectively. To simulate the runoff was applied on all plots a flow of 300 L min^{-1} equivalent to a water depth of 60 mm h^{-1} in 30 m^2 . The runoff sampling occurred during 2 hours each 10 minutes, generating 144 samples. The highest accumulated water retention (66%) and sediment (84%) were obtained by the 30 m wide vegetative filter strip. However, the 10 m wide vegetative filter strip was highly efficient, providing an accumulated retention of 50 and 75% for water and sediment, respectively, values close to those obtained by the 30 m wide. Thus, the 10 m wide, for its high efficiency, combined with the agricultural economy, presents a greater potential for acceptance with farmers, facilitating the diffusion of this conservation practice.

Keywords: Surface runoff, sediment and water erosion.

3. INTRODUÇÃO

A vegetação ciliar está situada em áreas de transição entre encostas potencialmente poluidoras e os ecossistemas aquáticos, exercendo papel de grande importância na manutenção da qualidade das águas superficiais com a retenção de poluentes transportados pelo escoamento superficial. O uso e ocupação inadequados de encostas que apresentam fragilidade ambiental aceleram a ocorrência de áreas degradadas e diminuem o poder de tamponamento dentro da bacia hidrográfica, tornando altamente relevante o papel da vegetação ciliar na mitigação desses impactos. O sistema de culturas e de preparo do solo, assim como o uso de práticas conservacionistas tem influência direta no transporte de sedimento e poluentes associados que, ao serem depositados nos cursos d'água, darão origem aos processos de assoreamento e eutrofização, entre outros problemas (SAUNITI et al., 2004). Durante o processo erosivo, as partículas de solo de maior tamanho podem ser depositadas dentro de poucos metros, enquanto que as partículas menores, por apresentarem movimentação errática, são transportadas a distâncias maiores juntamente com o escoamento superficial.

O consorcio da vegetação ciliar com faixas de gramíneas favorece a retenção de sedimentos, pois a presença de gramíneas e vegetação herbácea associada a espécies arbustivas e arbóreas funciona como um filtro em gradiente formando uma barreira mais consistente ao escoamento superficial. Este adensamento da vegetação pela presença da grama e plantas herbáceas permite que o escoamento diminua a velocidade, permitindo que haja mais tempo para a infiltração da água no solo, potencializando assim o poder tampão da faixa vegetada. As raízes além de atuarem como barreira física proporcionam melhorias na qualidade física do solo, como agregação e consequentemente macroporosidade favorecendo a infiltração do escoamento (TISDALL et al., 1982).

O mecanismo de retenção pelas faixas vegetadas do escoamento superficial e seus poluentes associados consiste na captura de poluentes pelas fração sólidas do solo, bem como pelas raízes das plantas e microrganismos, os quais podem imobilizá-los e transformá-los, estabilizando desse modo o sedimento e poluentes associados (USDA-NRCS, 1997). O tempo de contato entre a água, a vegetação e o solo são importantes para obter um decréscimo na velocidade do escoamento superficial bem como na concentração de poluentes. A largura da

faixa vegetada, a densidade, a resistência e a altura da vegetação assim como a declividade do terreno afetaram a eficiência de retenção (SYRVERSEN, 2005).

Mankin et al. (2007) avaliaram o potencial de retenção de sedimento em faixas de vegetação ciliar constituída por gramíneas e espécies arbustivas em solo com textura franco siltosa e obtiveram reduções na concentração média de sedimento que variaram de 99,7% a 97,9% respectivamente para larguras de faixas vegetadas variando de 8,3 a 16,1 m. O tipo de vegetação influencia na retenção de sedimento, demonstrando que faixas com 8 m de largura composta pela associação entre gramíneas e espécies arbustivas são eficazes na redução da poluição difusa. Ainda com o objetivo de avaliar a eficiência das faixas vegetadas com gramíneas, Raffaele et al. (1997) avaliou uma faixa de 0,6 m de largura associada a cultivos em solo sob pousio, preparo convencional e cultivo durante três anos e verificou menores perdas de sedimento quando a faixa vegetada foi usada. Dillaha et al. (1989) também avaliou a capacidade de retenção das faixas vegetadas na remoção de sedimentos em fluxo superficial em áreas cultivadas simulando precipitações de 50 mm h^{-1} em parcelas de 5,5 m x 18,3 m as quais associou faixas vegetadas de 4,6 e 9,1 m de largura, nas quais eles obtiveram em média 70 e 84 % de retenção de sedimento. Daniels et al. (1996) avaliaram a capacidade de faixas vegetadas com gramíneas e de mata ciliar na retenção de sedimentos provenientes de escoamento superficial de áreas agrícolas, em solos da Carolina do Norte. Os resultados indicaram que tanto a faixa vegetada com gramíneas como a mata ciliar reduziram a concentração de sedimentos no escoamento superficial. A eficácia variou com a erosividade da bacia hidrográfica e da intensidade da precipitação, entretanto em todas as precipitações ocorridas, a carga de sedimentos foi reduzida entre 60 e 90%.

Considerando o limite de 30 metros de faixa de vegetação ciliar marginal exigido pela resolução 303/2002 do CONAMA (BRASIL, 2002) para rios com menos de 10 metros de largura, na região dos Campos Gerais do Estado do Paraná esta faixa se caracteriza pela existência de um gradiente com uma estreita faixa de vegetação arbórea próxima ao rio seguida de gramíneas nativas distribuídas entre arbustos. Sendo assim, as faixas vegetadas de campo nativo são uma alternativa eficiente dentro do conjunto das melhores práticas de manejo que visam reduzir a poluição difusa. O uso de faixas vegetadas aliadas a outras práticas proporciona melhores resultados minimizando os impactos que o escoamento superficial tem causado aos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a retenção de sedimento e água por meio do escoamento superficial simulado em diferentes larguras de faixas vegetadas, em um Cambissolo de textura franco argilo-arenosa, na região dos Campos Gerais, no estado do Paraná. A partir destes resultados espera-se definir as larguras adequadas, nesta condição experimental, que proporcione aumento da retenção de sedimento e água, evitando, assim, a contaminação das águas superficiais via escoamento superficial.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização geral da área

O estudo foi conduzido no município de Porto Amazonas, na latitude 25°25'46"S e longitude 50°00'23"O. O clima da região é subtropical úmido do tipo Cfb, segundo classificação de Köppen, com verões amenos e temperatura média anual variando de 17 a 18 °C . A precipitação média anual varia de 1400 a 1600 mm (CAVIGLIONE et al., 2002). O relevo da região é ondulado com altitudes de 865 metros. O solo é um Cambissolo de textura franco argilo arenoso na camada de 0-20 cm e declividade média de 10 %. Os Campos Gerais do Paraná constituem uma região fitogeográfica com predomínio de vegetação campestre, a estepe gramíneo-lenhosa (VELOSO et al., 1991). A família das gramíneas foi predominante na área experimental, sendo o gênero *andropogon* mais comum. Outras espécies arbustivas como *schinus terebinthifolius* e herbáceas como *polypodium vulgare* também ocorreram com menor frequência.

4.2. Caracterização física e química do solo

A área experimental foi caracterizada inicialmente com a coleta de solo em amostras indeformadas em anéis volumétricos nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em sete pontos escolhidos aleatoriamente na encosta onde foi instalado o experimento. Para a análise granulométrica e caracterização química do solo, coletou-se uma amostra composta por 20 subamostras nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Os atributos físicos foram determinados de acordo com Embrapa (1997), sendo a análise granulométrica pelo método do densímetro e a densidade pelo método do anel volumétrico. A microporosidade pelo método da mesa de tensão e a macroporosidade pela diferença entre porosidade total e microporosidade (Embrapa, 1997). A

porosidade total foi calculada usando o valor de densidade de partícula de $2,65 \text{ g cm}^3$ e da densidade de solo. Amostras de solo em blocos não deformados foram coletados nas mesmas profundidades apresentadas acima e posteriormente fragmentadas manualmente em seus planos de fraqueza naturais em tamanho suficiente para passar em peneira de malha 8 mm. Após a secagem das amostras a temperatura ambiente, 50 g de agregados foram umedecidos por capilaridade num funil de papel filtro durante 12 horas. Os agregados foram transferidos cuidadosamente para a peneira superior de um conjunto de cinco peneiras com malhas de 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,50 mm e 0,25 mm, para o procedimento de peneiração úmida em aparelho do tipo Yoder, ajustado para 36 oscilações por minuto, com amplitude de 25 mm, durante 15 minutos. Os agregados retidos em cada peneira foram secos a 50°C e pesados, para o posterior cálculo do diâmetro médio ponderado úmido (DMPu) (KEMPER; ROSENAU, 1986; CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990). O índice de estabilidade de agregados (IEA) foi obtido dividindo-se o diâmetro médio ponderado úmido (DMPu) pelo diâmetro médio ponderado seco (DMPs). A determinação dos parâmetros químicos pH CaCl_2 , pH SMP, carbono orgânico (método colorimétrico), Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} (extraído com KCl), K^+ , e P (extraído com Mehlich I), H+Al (obtido pelo pH SMP) foram segundo Pavan et al. (1992). Os resultados da caracterização física e química do sedimento encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Atributos físicos do solo da área experimental.

Prof. (cm)	Granulometria (g kg^{-1})			IEA	Ds (g cm^{-3})	Porosidade (%)			DMPu (mm)	DMPs
	Argila	Silte	Areia			Micro	Macro	Total		
0-5	350	158	491	0,92	1,06	36,68	23,24	59,93	3,14	3,40
5-10	347	186	466	0,80	1,15	37,38	19,33	56,72	2,84	3,57
10-20	359	179	460	0,70	1,20	34,59	20,20	54,79	2,57	3,69

Índice de estabilidade de agregados (IEA); densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado úmido (DMPu); diâmetro médio ponderado seco (DMPs)

Tabela 2. Atributos químicos do solo da área experimental.

Prof. (cm)	pH SMP	pH CaCl_2	Al	H+ Al	Ca	Mg	K	P Mehlich I	Carbono
			----- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----					--- mg dm^{-3} ---	-- g dm^{-3} --
0-5	6,0	5,3	0,1	5,2	3,8	2,5	0,3	6,7	41,8
5-10	5,3	4,6	1,5	8,4	1,5	0,9	0,2	6,4	32,0
10-20	5,0	4,3	3,1	10,3	0,6	0,5	0,1	2,4	30,4

4.3. Tratamentos e construção das parcelas

Os tratamentos foram compostos por quatro larguras de faixa vegetada de campo nativo e três repetições. As doze unidades experimentais dispostas em delineamento inteiramente casualizados possuíam 5, 10, 20 e 30 m de comprimento por 1 m de largura, onde a área de cada parcela experimental foi de 5, 10, 20 30 m², respectivamente. As mesmas foram delimitadas por chapas de metal de 10 cm de altura com 5 cm enterrados no solo. As parcelas foram alocadas no sentido do declive sendo a extremidade inferior, o último um metro construído em “V”, onde o escoamento foi canalizado com um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro 20 para baldes de 12 litros (Figura 1).

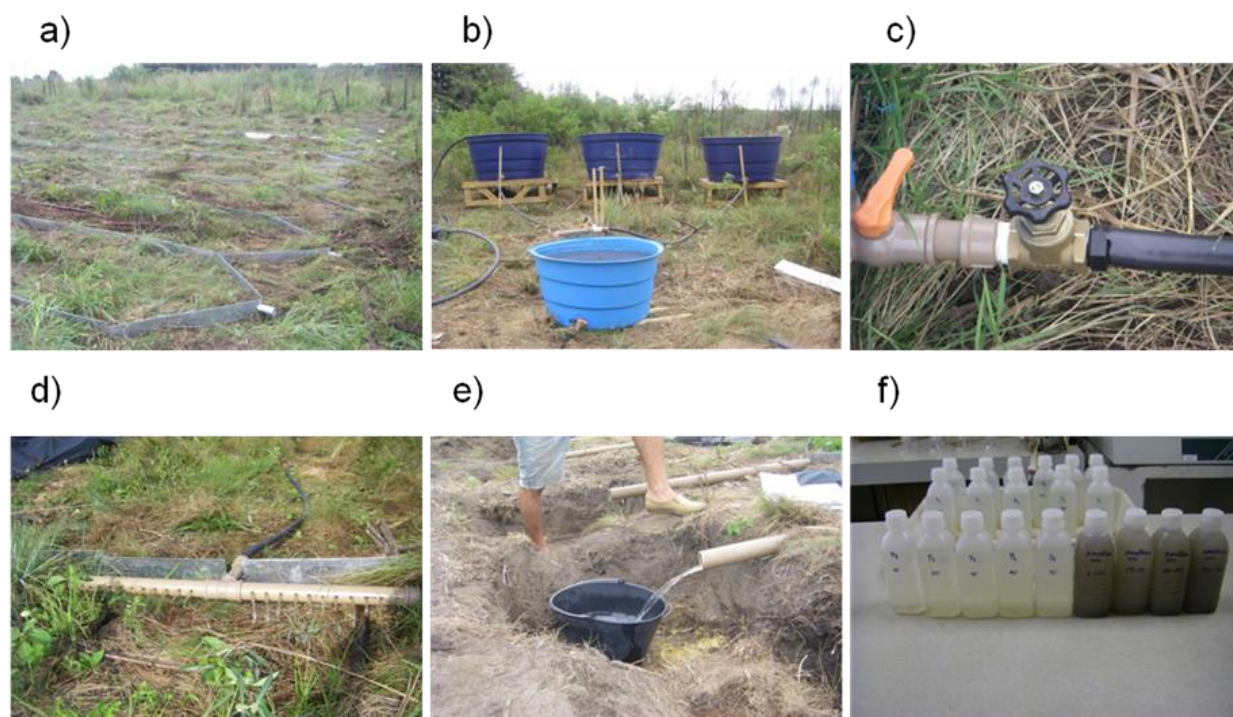


Figura 1. a) Parcela delimitada; b) Estrutura para simulação; c) Registro para regular vazão; d) Estrutura para distribuir o escoamento; e) Coleta do escoamento; f) Amostras de escoamento superficial, em Porto Amazonas-PR.

4.4. Preparo do escoamento superficial simulado

O escoamento superficial simulado constituiu-se da mistura de solo (coletado nos primeiros 10 cm de uma área agrícola adjacente ao experimento), nutrientes (fertilizantes solúveis) e água do rio próximo a área experimental (FIGURA 2). A concentração de sedimento

aplicada ($2,4 \text{ g L}^{-1}$) foi baseada em concentrações médias obtidas em estudos com chuva natural em plantio direto na região dos Campos Gerais do Estado do Paraná (SILVEIRA et al., 2009; TIMOFIECSYK et al., 2009), sendo, entretanto, usado como base para os cálculos a concentração de sedimento das amostras compostas coletadas nas caixas após adição do solo e fertilizantes ($3,22 \text{ g L}^{-1}$). As concentrações de nutrientes utilizadas também foram baseadas em estudos com chuva natural e escoamento superficial da região (SILVEIRA et al., 2009; TIMOFIECSYK et al., 2009). Foram utilizadas 50 mg L^{-1} de P (186 g fosfato monoamônico), 60 mg L^{-1} de N-NH_4^+ (543 g de sulfato de amônio) e 200 mg L^{-1} N-NO_3^- (828 g de nitrato de cálcio). Todavia para a realização dos cálculos foi usado as concentrações médias analiticamente determinadas nas amostras compostas coletadas nas caixas após a adição do solo e fertilizantes. Os valores reais (leitura das caixas) utilizados foram: $62,2 \text{ mg L}^{-1}$ de P, $40,9 \text{ mg L}^{-1}$ de N-NH_4^+ e $170,3 \text{ mg L}^{-1}$ N-NO_3^- .

A mistura de solo e nutrientes foi homogeneizada manualmente em reservatório de 1000 litros que estava conectado a um reservatório de 310 litros. Neste reservatório, manteve-se uma coluna de água constante e dois registros para controlar a vazão. Entre o reservatório e as parcelas conectaram-se mangueiras de 1 polegada com um distribuidor do escoamento superficial, o qual foi locado na parte superior das parcelas (Figuras 1 e 2). Utilizou-se uma vazão de 30 litros por minuto, simulando uma lâmina de água de 60 mm h^{-1} em uma área de 30 m^2 . A vazão de 30 litros por minuto foi aferida, em três repetições, sempre antes de iniciar a simulação em cada parcela utilizado um balde graduado (12 L em 24 segundos),

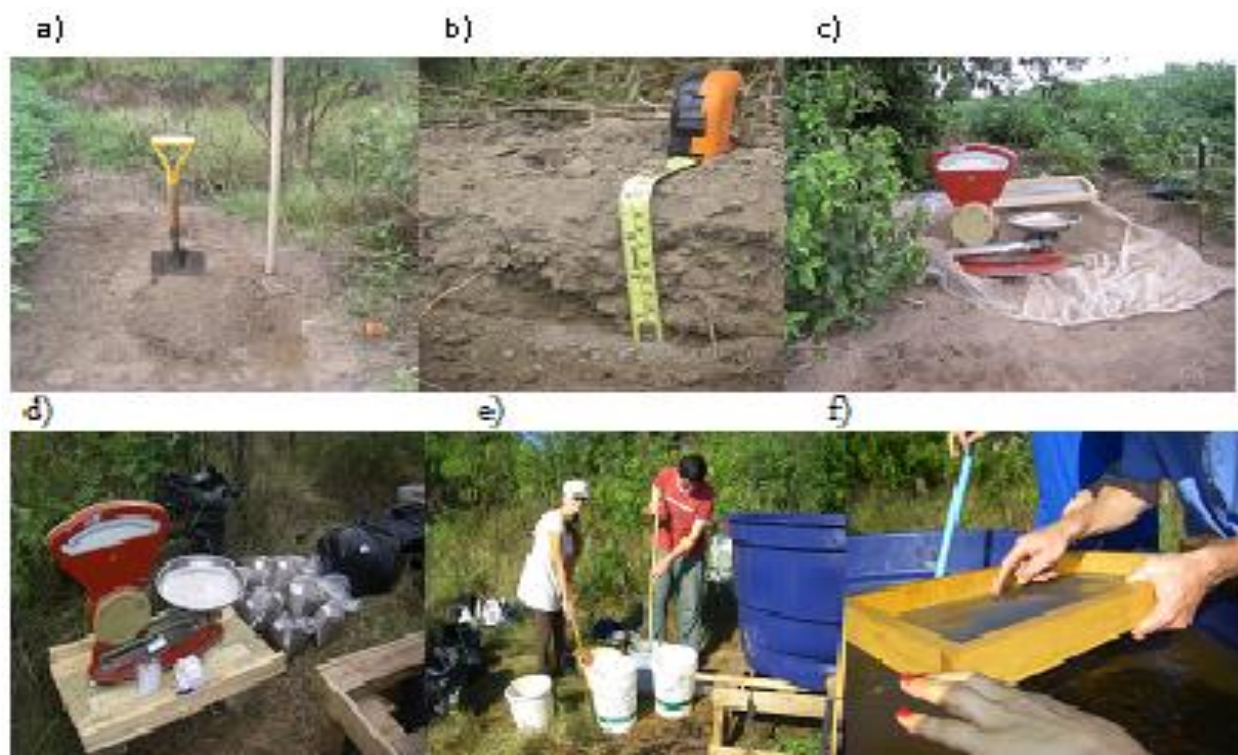


Figura 2. a) Local de coleta do solo; b) Profundidade de coleta do solo (10 cm); c) Peneiramento do solo; d) Pesagem e armazenamento do solo em sacos plásticos; e) Pré-mistura dos fertilizantes solúveis; f) Peneiramento do solo em malha menor, em Porto Amazonas, PR.

4.5. Coleta do escoamento e determinação da perda de água e solo

O experimento foi instalado em 11 de fevereiro de 2009, sendo aplicação e coletas do escoamento realizadas entre 31 de março a 02 de abril de 2009. A coleta do escoamento superficial ocorreu durante 2 horas a cada 10 minutos, gerando 144 amostras. O volume do escoamento superficial simulado foi coletado em baldes graduados de 12 litros nas quais se determinou a perda de água. Posteriormente, foi transferido para galões maiores, homogeneizado para retirada de uma amostra composta em garrafa plástica de 500 mL sendo congelada até o momento de iniciar as análises químicas. Após o descongelamento em temperatura ambiente, retirou-se uma alíquota de 50 mL e em 1 becker previamente pesado conduziu-se a secagem do mesmo em estufa a 105°C, para a determinação da concentração de sedimento. A perda de solo foi calculada através da concentração do sedimento e do volume perdido de água.

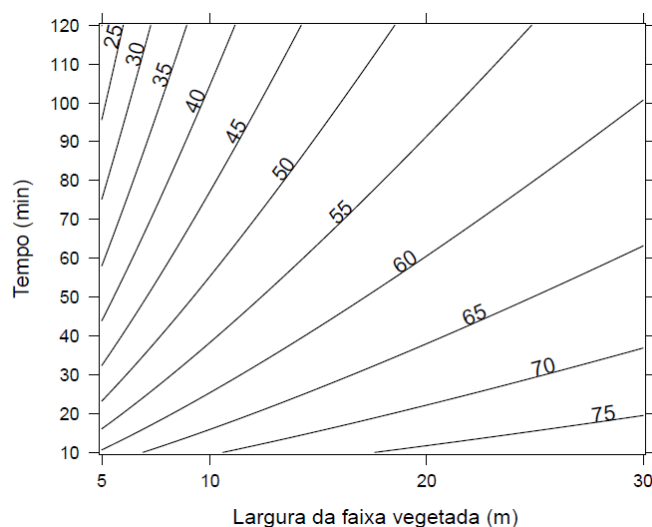
4.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância, verificando a interação entre largura de faixa vegetada e tempo de simulação, e o estudo da interação foi realizado com regressão não linear múltipla, seguindo o modelo $f(t,f) = at^b(tf)^c$, sendo t = tempo e f = comprimento de faixa vegetada, e a, b, c constantes dos modelo. Para ajuste do modelo e análise de variância utilizou-se o software R 2.11.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Retenção do escoamento superficial

As retenções em cada tempo simulado sempre foram maiores nas da faixa vegetada de 30 m (FIGURA 3). As retenções para os tempos de simulação 10 a 120 minutos variaram de 60 a 20 % e de 79 a 58 %, respectivamente para as faixas vegetadas de 5 e 30 m de largura, demonstrando um gradiente crescente de retenção na medida em que aumentou a largura da faixa, e uma redução com o aumento do tempo de simulação. Considerando a retenção isoladamente em cada tempo, aos 60 minutos de simulação, a faixa vegetada de campo nativo de 10 m apresentou uma retenção 17% menor em relação a faixa de 30 m, a qual era 3 vezes mais larga que a faixa de 5 m. Já aos 120 minutos as faixas vegetadas de 10 m apresentaram 38 % de retenção, enquanto que as faixas de 30 m obtiveram 58 %, revelando que houve um aumento no processo de retenção, não sendo entretanto, proporcional ao aumento na largura da faixa vegetada. Neste caso houve um ganho na retenção de 1,5 vezes na faixa vegetada de 30 m em relação às faixas vegetadas de 5 m. Estes percentuais de retenção fornecem a possibilidade de se trabalhar com diferentes larguras de faixas vegetadas, adequando de acordo com cada situação, como o tipo de uso na da encosta, ocorrência de diferentes declividades, diferentes comprimentos de rampa, intensidade de precipitação. O uso de faixa vegetada com 10 m de largura, por exemplo, a qual obteve retenção de 49 % de água aos 60 minutos, 17 % a menos apenas em relação à faixa vegetada de 30 m, pode ser mais atrativa aos produtores agrícolas por ocupar uma área dentro da propriedade menor, mesmo que esta esteja próximo aos cursos d'água. A retenção obtida pela faixa vegetada de campo nativo pode ser potencializada ainda quando associada à vegetação ciliar ou exercer o papel da mesma durante o processo de recuperação de áreas degradadas (LUDOVICE, 2003).



$$\text{Retenção de Água (\%)} = 100 - \left[\frac{108,648 \cdot (t)^{0,645} \cdot (t \cdot f)^{-0,359}}{300} \right]$$

$$R^2=0,88 \quad p \text{ valor} < 0,05$$

Figura 3. Retenção de água em cada largura de faixa vegetada de campo nativo e em cada tempo de coleta, onde, f = faixa vegetada e t = tempo de coleta.

Com relação a retenção acumulada total, ou seja a retenção obtida nas 2 horas de simulação (Figura 4), observa-se que em todas as larguras de faixas vegetadas houve retenção de água, sendo estas menores nas faixas vegetadas de 5 m de largura. As menores retenções na medida em que diminuiu a largura da faixa vegetada podem ter ocorrido por não se conseguir diminuir a velocidade do escoamento superficial, diminuindo assim o tempo de contato com a vegetação que atua com barreira física, facilitando a infiltração da água no solo. Outro aspecto importante que também pode ter contribuído para redução das retenções, foi o aumento do volume da lâmina de escoamento superficial fornecido, que em função da variação no tamanho da área da parcela experimental tornou-se maior à medida que a largura da faixa vegetada diminuiu, saturando mais rapidamente o solo e reduzindo o volume de infiltração total da água. Para as faixas vegetadas de 5 m, por exemplo, a lâmina de água foi 83 % (360 mm h^{-1}) maior do que da faixa vegetada de 30 m (60 mm h^{-1}). Este fato confirma que a relação entre largura de faixa vegetada, tempo de simulação e volume de escoamento superficial são aspectos importantes no planejamento e dimensionamento da faixa vegetada para se obter um bom desempenho da mesma.

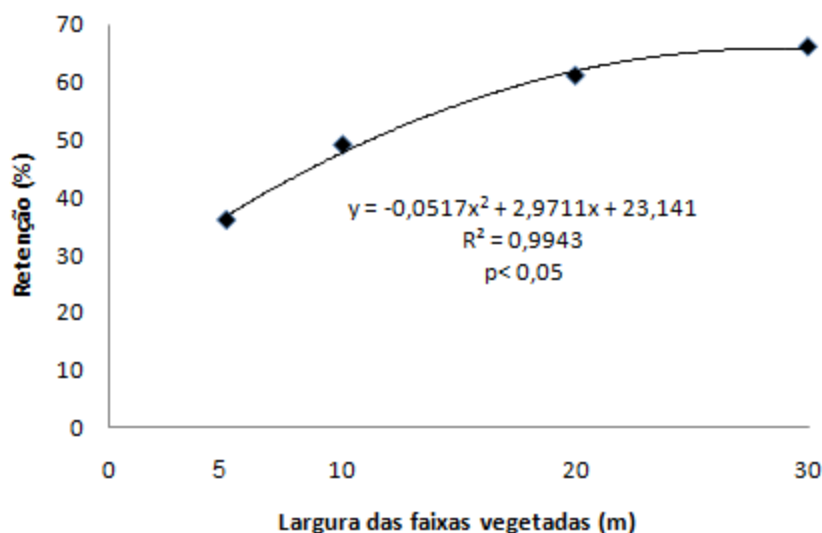


Figura 4. Retenção acumulada de água para cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação.

A retenção do escoamento superficial acumulado foi 30 % maior nas faixas de 30 m em relação às faixas vegetadas de 5 m de largura. As faixas vegetadas de 10 m apresentaram 50 % de retenção de água, valor este que se associado ao tempo de 46 minutos gasto pelo escoamento superficial para atravessar esta largura de faixa vegetada já seria suficiente pra reter praticamente todo o volume de uma precipitação com intensidade de 60 mm h^{-1} . Quanto mais larga a faixa vegetada maior foi o tempo gasto pelo escoamento superficial para percorrer a parcela e chegar ao local de coleta. O tempo gasto para percorrer as parcelas foi de 13 e 130 minutos para as larguras de 5 e 30 m, respectivamente. Quanto maior a área de cada parcela, maior foi à capacidade de armazenamento de água, aumentando assim a capacidade de retenção, considerando que a taxa de infiltração, provavelmente, foi igual para todos os tratamentos, já que a área experimental usada não apresentou diferenças quanto à classe de solo, textura, declividade e vegetação. Mankin et al. (2007), trabalhando com larguras de faixas vegetadas com gramíneas e espécies arbustivas que variam de 8,3 a 16,1 m em solo de textura franco-siltosa com 4 % de declividade obtiveram uma redução do escoamento superior a 77 % com valores máximos de 91%. Ludovice et al. (2003) avaliaram o uso de faixas vegetadas com *Braquiaria decumbens* em argissolo de textura arenosa a média com 6% de declive e intensidade de chuva simulada de 60

mm h⁻¹. Eles obtiveram retenções para as faixas de 5 e 10 m de largura de 60% e 80% para o ano 2000, 77% e 94% para o ano de 2001, e 60% e 78% para o ano de 2002, destacando a maior eficiência de retenção em 2001 para a faixa de 10 m de largura.

A retenção acumulada obtida com faixas vegetadas de campo nativo (FIGURA 4) quando comparados aos dois autores anteriores foram menores, entretanto cabe ressaltar que a declividade neste estudo foi de 10 %, muito superior aos dois trabalhos citados. Nas faixas vegetadas de 20 e 30 m o declive juntamente com o comprimento de rampa pode ter influenciado no ganho de velocidade do escoamento superficial, reduzindo assim a capacidade de retenção de água. As retenções do escoamento superficial obtidas (FIGURA 4) podem ser atribuídas não apenas pela ação da barreira física das faixas vegetadas, mas pela maior infiltração da água, que foi favorecida pela elevada macroporosidade do solo (Tabela 1). O tipo de vegetação, que neste caso foi campo nativo, com presença predominante de gramíneas (*Andropogon*), por apresentar sistema radicular fasciculado sendo constantemente renovado, proporciona ao solo uma boa estruturação física (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990)

5.2. Retenção do sedimento

As concentrações médias ponderada de sedimento ao final das duas horas de simulação para as faixas vegetadas de 5 m foram 7 % menores que nas faixas vegetadas de 30 m de largura (Figura 5). Observando a redução obtida pelas faixas vegetadas, verifica-se que a redução da concentração de sedimentos se deve em parte à redução do escoamento superficial (Figura 4). Embora tenha havido reduções da concentração média ponderada, estas não foram tão acentuadas, e podem ser explicadas por perdas de solo da própria parcela experimental, que junto com a concentração utilizada no preparo do escoamento superficial simulado impediu que a redução da concentração pelas faixas vegetadas fosse maior. O aumento da lâmina de água aplicada, que ocorreu pela diminuição da área da parcela experimental, pode ter saturado o solo mais rapidamente, diminuindo a infiltração e aumentando as perdas do solo contido no escoamento superficial. Outro aspecto a ser considerado, é a presença de sedimentos mais finos contidos no escoamento superficial, que com partículas de menor tamanho apresentam movimento errático e são de difícil deposição. Ludovice et al. (2003), em faixas vegetadas de braquiária (*Braquiaria decumbens*) com 5 e 10 metros de largura em Argissolo com textura arenosa/média, obtiveram reduções de concentração de sedimentos e 58,5 % e 70,7%, para o

primeiro ano, 86% e 89,7% para o segundo ano, 85,8% e 87,5%, e para o terceiro ano de simulação respectivamente. No estudo conduzido por Ludovice et al. (2003) com chuva simulada o sedimento transportado originou-se da própria parcela experimental, diferentemente do estudo realizado com faixas vegetadas de campo nativo, que para a simulação o escoamento superficial foi preparado com uma concentração de sedimento de 3,22 g L, concentração esta, que provavelmente recebeu uma concentração adicional do solo da própria parcela experimental.

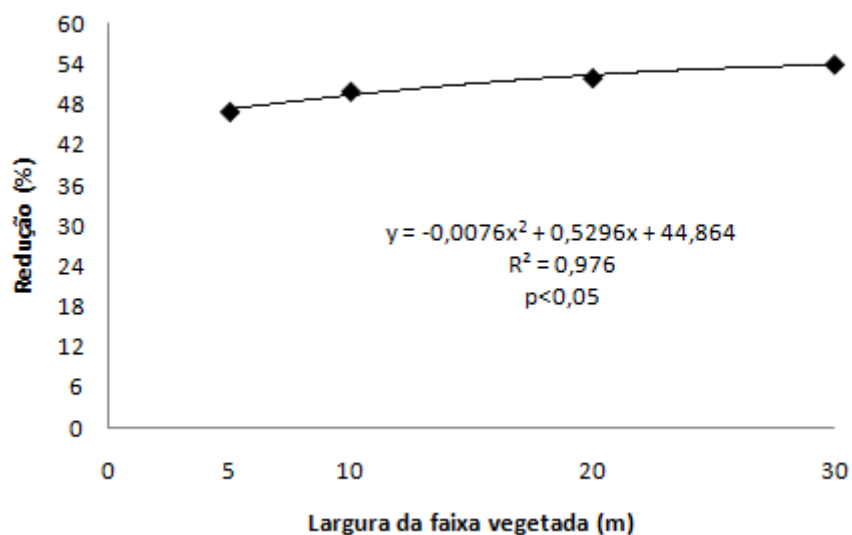
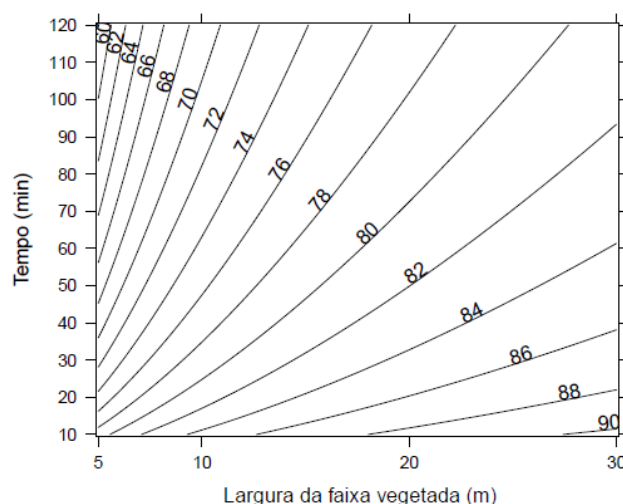


Figura 5. Redução da concentração média ponderada de sedimento para cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação.

A retenção de sedimento variou entre os tempos de simulação e as larguras de faixa vegetada (Figura 6). As retenções de sedimento para os tempos 10 e 120 minutos de simulação, por exemplo, foram de 79 e 58 % e 90 e 81 %, respectivamente, para as faixas vegetadas de 5 e 30 m de largura (Figura 6). Essas retenções demonstram que a interação entre o tempo de simulação e a largura de faixa vegetada na retenção de sedimento ocorreu, mas deve se em parte a infiltração da água do escoamento superficial. Com o aumento da largura da faixa vegetada a ação da barreira física reduziu a velocidade do escoamento superficial que facilitou o processo de infiltração aumentando assim a deposição do sedimento que estava sendo transportado. A variação na retenção de sedimento aos 60 minutos de simulação entre as faixas vegetadas de 5 e 30 m de largura apresentou uma diferença de 19 % (FIGURA 6). Aos 120 minutos de simulação

essa diferença foi de 23 %, revelando que em períodos maiores de simulação, as faixas mais largas proporcionaram melhores resultados. Entretanto, a faixa vegetada de campo nativo de 10 m de largura apresentou 74 % de retenção de sedimento aos 60 minutos de simulação, e 69 % aos 120 minutos, ou seja, apenas 12 % a menos que as da faixa vegetada de 30 m (FIGURA 6) mesmo tendo uma lâmina de água de 180 mm h^{-1} (33 % maior que na faixa de 30 m). A faixa de 10 m de largura apresentou percentual de retenção do sedimento contido no escoamento superficial tanto aos 60 como aos 120 minutos de simulação bem próximos aos da faixa vegetada de 30 m de largura, mesmo apresentando um terço da largura das faixas de 30 m. Na precipitação de 60 mm h^{-1} e concentração de $3,22 \text{ g L}^{-1}$ de sedimento, apenas 26 % do sedimento foi perdido com o uso de uma faixa vegetada de 10 m de largura. Ao final de duas (02) horas de simulação, a retenção obtida já citada anteriormente foi maior que 50 %, demonstrado que as faixas vegetadas de campo nativo de 10 m de largura proporcionou uma boa retenção do sedimento contido no escoamento superficial.



$$\text{Retenção de sedimento (\%)} = 100 - \left[\frac{213,67 \cdot (t)^{0,715} \cdot (f)^{-0,434}}{967,2} \right]$$

$$R^2 = 0,911 \quad p \text{ valor} < 0,05$$

Figura 6. Retenção de sedimento em cada largura de faixa vegetada de campo nativo em cada tempo de coleta, onde: f = Largura de faixa vegetada; t = tempo de coleta.

A retenção acumulada de sedimento foi 18 % maior para a faixa vegetada de 30 m em relação a faixas vegetada de 5 m de largura (FIGURA 7). Como a redução da concentração

média ponderada variou em torno de 47 a 54 % para as faixas vegetadas de 5 a 30 m de largura, pode-se dizer que a redução da concentração não foi o único fator que influenciou na retenção acumulada de sedimento. As retenções são explicadas em boa parte pela retenção acumulada de água (66 %). O solo sob faixas vegetadas de campo nativo apresentou uma porosidade total de 60 % na camada de 0-5 cm, o que confere uma excelente condição para infiltração de água no solo. Mankin et al. (2007) estudando a eficácia de faixas vegetadas com gramíneas e espécies arbustivas obteve reduções de massa variando de 78 % a 90 %. Duchemin et al. (2009) avaliando a eficácia de faixas vegetadas com gramíneas e espécies arbórea (álamo) obteve retenções acima de 85 %. Schmitt et al. (1999) compararam a eficiência de faixas vegetativas com diferentes tipos de cobertura vegetal e diferentes larguras, em solo com textura argilo siltosa e declividades de 7 % e constataram que faixas vegetadas com gramíneas de 7,5 e 15 m de largura reduziram as perdas de sedimento em 76% e 93%, respectivamente.

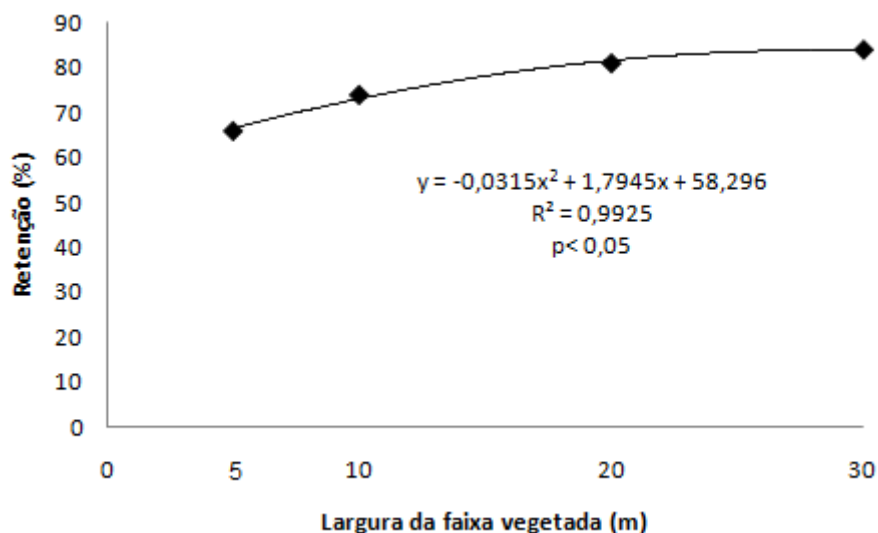


Figura 7. Retenção acumulada de sedimento para cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação.

Apesar das maiores retenções acumuladas terem ocorrido na faixa de 30 m (FIGURA 7), pode-se considerar que a faixa vegetada de campo nativo de 10 m de largura teve um ótimo desempenho, pois reteve 75 % do sedimento com 1/3 da largura das faixas de 30 m. É importante lembrar também que os valores de retenção de sedimento obtidos no presente estudo com faixas

vegetadas de campo nativo ocorrem em uma encosta com declividade de 10 %, fator este que potencializa a velocidade do escoamento superficial, podendo diminuir a eficiência da faixa vegetada como barreira física, pois favorece a concentração do fluxo do escoamento superficial em canais naturalmente pré-existentes. Faixas vegetadas desempenham melhor sua função em encostas com declividade até 6 %. Encostas com declividades maiores do que 6 % tendem a concentrar o escoamento superficial, o que pode reduzir a eficácia da faixa vegetação (USEPA, 2006).

6. CONCLUSÕES

As maiores retenções acumuladas de água (66 %) e de sedimento (84 %) foram obtidas pela faixa vegetada de campo nativo de 30 m de largura. No entanto, a faixa vegetada de 10 m de largura foi altamente eficiente, proporcionando uma retenção acumulada de 50 e 75 % de água e sedimento, respectivamente, valores próximos aos obtidos pela faixa de 30 m. Assim, a faixa de 10 m de largura, pela sua elevada eficiência, aliada a economia de área agrícola, apresenta um maior potencial de aceitação junto produtores rurais, facilitando a difusão desta prática conservacionista na agricultura.

7. LITERATURA CITADA

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:99-105, 1990.

DANIELS R.B.; GILLIAM J.W. Sediment and chemical load reduction by grass and riparian filters. **Soil Science Society of America Journal**, 60:246-251, 1996.

DILLAHA, T.A; RENEAU, R.B.; MOSTAGHIMI, S.; LEE, D. Vegetative filters strips for agricultural nonpoint source pollution control. **Transactions of ASAE**, 32:491-496, 1989.

DUCHEMIN, M.; HOGUE, R. Reduction in agricultural non-point source pollution in the first year following establishment of an integrated grass/tree filter strip system in southern Quebec (Canada). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 131:85-97, 2009

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Embrapa Solos), p. 212, 1997.

INSTITUTO AGRONOMICO DO PARANA (IAPAR). **Cartas climáticas do estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>, acesso em : 16/12/2009.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A.(Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2° ed. Madison: SSSA, p.425-442, 1986

LUDOVICE, M. T. F. **Influência de faixa filtro de brachiaria decumbens na retenção de atrazina, nutrientes e sedimentos em escoamento superficial**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, SP, 2003.

MANKIN, K. R.; DANIEL M. N.; CHARLES J. B.; STACY L. H.; WAYNE A. G. Grass-Shrub Riparian Buffer Removal of Sediment, Phosphorus, and Nitrogen From Simulated Runoff. **Journal of the American Water Resources Association**, 43:1108-1116, 2007.

MORI, H. F.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V. Perdas, água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquidos de bovinos em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:189-198, 2009.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. de F.; ZEMPULSKI, H. da C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina. IAPAR, circular n.76, p.38, 1992.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2009. ISBN 3-900051-07-0, Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em 20/11/2009.

RAFFAELLE, J.B.; MCGREGOR, K.C.; FOSTER, G.R.; CULLUM, R.F. Effect of narrow grass strips on conservation reserve land converted to cropland. **Transactions of ASAE**. 40:1581-1587, 1997.

SAUNITI, R. M.; FERNANDES, L. A.; BITTENCOURT, A. V. L. Estudo do assoreamento do reservatório da Barragem do Rio Passaúna - Curitiba - PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, 54:65-82, 2004.

SCHMITT, T. J.; DOSSKEY, M. G.; HOAGLAND, K. D. Filter strip performance and processes for different vegetation, widths and contaminants. **Journal Environment Quality**. 28:1479-1489, 1999.

SYVERSEN, N. Effect and design of buffers zones in the Nordic climate: The influence of width, amount of surface runoff, seasonal variation and vegetation type on retention efficiency for nutrient and particle runoff. **Ecological Engineering**, 24:483-490, 2005.

TIMOFIECSYK, A. **Perdas de água, solo e nutrientes com aplicação de dejetos líquido bovino sob plantio direto e chuva natural em latossolo bruno**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, (UFPR), Curitiba, 2009.

TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soil. **Journal Soil Science**, 33:141-163, 1982.

USDA-NRCS - NATURAL RESOURCE CONSERVATION SERVICE -. Filter strips – **Conservation Practice Job Sheet**, 393. April de 1997. Disponível em: http://www.ma.nrcs.usda.gov/news/publications/Filter_Strip.pdf. Acesso 10/07/2008.

USEPA NPDES Phase II. Vegetated Filter Strip.National Menu of Best Management practices for Post Construction in Storm Water Management in New Construction and Post Construction, 2006. Disponível em: <http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=browse&Rbutton=detail&bmp=76>. Acesso em 26/06/2010.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R. & LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: **IBGE**, p.123,1991.

CAPITULO 3 - LARGURAS DE FAIXAS VEGETADAS DE CAMPO NATIVO: RETENÇÃO DE NITROGÊNIO E FOSFORO.

1. RESUMO

A retenção de nitrogênio e fósforo tanto na forma solúvel como particulada contido no escoamento superficial por faixas vegetadas de campo nativo é uma alternativa eficaz para minimizar os impactos da poluição difusa advindas de áreas agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a retenção de nitrogênio e fósforo contido do escoamento superficial simulado em diferentes larguras de faixas vegetadas, em Cambissolo com textura Franco argilo arenosa, na região dos Campos Gerais, no estado do Paraná. As 12 unidades experimentais, dispostas inteiramente ao acaso, foram delimitadas com chapas de zinco e constituídas por 5, 10, 20 e 30 m de largura. As parcelas foram alocadas no sentido do declive sendo a extremidade inferior (último metro) construído em “V”, possibilitando a coleta do escoamento em baldes de 12 litros, canalizado por um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro. A concentração de sedimento aplicada foi de $3,22 \text{ g L}^{-1}$ e a de nutrientes foi de $62,2 \text{ mg L}^{-1}$; $40,9 \text{ mg L}^{-1}$ e $170,3 \text{ mg L}^{-1}$, de P, N-NH_4^+ e N-NO_3^- , respectivamente. Para simular o escoamento superficial aplicou-se em todas as parcelas uma vazão de 300 L min^{-1} equivalente a uma lâmina de água de 60 mm h^{-1} em 30 m^2 . A coleta do escoamento superficial ocorreu durante 2 horas a cada 10 minutos, gerando 144 amostras. Foi retirada uma amostra representativa a cada tempo de coleta a qual era acondicionada em garrafas plásticas de 500 mL sendo congeladas para posterior análise química dos nutrientes nas diferentes formas. As maiores reduções nas concentrações médias ponderadas de nitrogênio (76 %) e de fósforo (52 %) ocorreram nas faixas vegetadas de 30 m de largura, da mesma forma que a retenção acumulada de nitrogênio (92 %) e de fósforo (85 %), entretanto, deve-se ressaltar a eficácia da faixa de 10 m com retenção acumulada de até 82 e 77 % para nitrogênio e fósforo, respectivamente, com o uso de um terço ($1/3$) da área em relação a faixa de 30 m.

Palavras chaves: Escoamento superficial, nutrientes, eutrofização, prática conservacionista,

2. ABSTRACT

The retention of runoff soluble and particulate nitrogen and phosphorus by vegetated strips of native grassland is an effective alternative to minimize the impacts of diffuse pollution from agricultural areas. The objective of this study was to evaluate the retention of nitrogen and phosphorus in runoff simulated in varying widths of vegetated strips in Cambisol with sandy clay loam texture in the region of Campos Gerais, Paraná state. The 12 plots, completely randomized, were delimited with zinc sheets and consist of 5, 10, 20 and 30 m wide. The plots were allocated following the slope and the lower end (last meter) constructed by the "V", enabling the collection of runoff in 12 L buckets, channeled by a PVC tube 75 mm in diameter. The sediment concentration applied was 3.22 g L^{-1} and nutrients were: 62.2 mg L^{-1} , 40.9 mg L^{-1} and 170.3 mg L^{-1} , of P, $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$, respectively. To simulate the runoff was applied on all plots a flow of 300 L min^{-1} equivalent to a water depth of 60 mm h^{-1} in 30 m^2 . The runoff sampling occurred during 2 hours each 10 minutes, generating 144 samples. A sample representative of each sampling time reserved in plastic bottles of 500 mL was frozen for subsequent chemical analysis of nutrients. The largest reductions in the weighted average concentrations of nitrogen (76%) and phosphorus (52%) occurred in vegetated strips 30 m wide, the same way that the accumulated nitrogen (92%) and phosphorus (85%) retention. However, it should be noted the effectiveness of 10 m to retain accumulated nitrogen and phosphorus up to 82 and 77%, respectively, using one-third ($1/3$) of the area over the 30 m wide

Keywords: Surface runoff, nutrients, eutrophication, conservation practice

3. INTRODUÇÃO

A redução do transporte de nutrientes via escoamento superficial é um dos aspectos a que se deve destinar maior atenção no planejamento do uso e ocupação de uma bacia hidrográfica. O excesso de nitrogênio e fósforo no escoamento superficial que chega até as águas superficiais tem provocado sérios problemas tanto ao meio ambiente como à saúde humana. No escoamento superficial, o nitrogênio e o fósforo podem estar na forma solúvel ou particulada. O nitrogênio orgânico em ambientes ácidos é convertido por bactérias nitrificantes para as formas solúveis como NH_4^+ (amônio) e NO_3^- (nitrato). O fósforo solúvel é a fração disponível e em sistemas de preparo convencional corresponde a uma porção muito pequena do fósforo total (SHARPLEY et al., 1992). A fração do fósforo adsorvida ao sedimento e à matéria orgânica é denominada de fósforo particulado, e é disponibilizado em longo prazo. Como o fósforo é fortemente adsorvido pelas cargas de superfície das argilas minerais, a maior proporção do fósforo transportado via escoamento superficial para as águas superficiais ocorre na forma adsorvida (SHARPLEY et al., 1994). As frações do fósforo solúvel mais o fósforo particulado juntas constituem o fósforo total. Em sistemas conservacionistas de preparo do solo, as perdas por escoamento superficial geralmente são menores em relação aos sistemas convencionais, entretanto, o acúmulo de nutrientes na superfície do solo são maiores, elevando a concentração da fração solúvel (BERTOL et al., 2004). No caso do nitrogênio, as formas solúveis como o nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), principalmente o nitrato, geralmente são encontradas em baixas concentrações no escoamento superficial, enquanto que o N particulado é a principal forma de N transportado via superfície (SMITH et al., 1990; SHARPLEY et al., 1987)..

As faixas vegetadas reduzem os poluentes provenientes de áreas agrícolas presentes em escoamento superficial por formarem uma barreira física, diminuindo a velocidade do escoamento e por promover uma melhor agregação do solo, facilitando assim o processo de infiltração. Os processos de redução da velocidade do escoamento e deposição de sedimento pela ação da barreira física das faixas vegetadas favorecem a retenção de nutrientes na forma particulada, ou seja, associada ao sedimento, enquanto que a infiltração favorece a retenção dos nutrientes na forma solúvel. Mankin et al. (2007) verificaram que o tipo de vegetação tem grande importância na retenção de nutrientes, e que faixas vegetadas com gramíneas associadas a plantas arbustivas apresentaram os melhores resultados. Daniels & Gilliam (1996), observaram

que as faixas vegetadas com árvores e gramas reduziram em 20 e 50% de nitrogênio total e nitrato, respectivamente. Abu-Zreig et al. (2003) estudaram a retenção de fósforo contido em escoamento superficial simulado em faixas vegetadas de gramíneas forrageiras e obtiveram retenções de até 89 % em faixas com 15 m, sendo a largura da faixa um fator predominante na retenção do fósforo.

A largura da faixa de vegetação ciliar destinada à proteção dos cursos de água de menos de 10 metros de largura determinada pela Lei Federal nº 7.803/89 de 18 de julho de 1989, é de 30 metros para cada lado da margem do curso d'água (BRASIL, 2005). Na região dos Campos Gerais do Estado do Paraná, a vegetação ciliar é tipicamente característica de campo, com uma estreita faixa de vegetação arbórea próximas aos mananciais, seguida de uma vegetação subarbustiva entremeada com espécies herbáceas e gramíneas, o que favorece o processo de filtragem, principalmente pela presença das gramíneas que melhoram a estrutura do solo, e formam um gradiente de retenção junto com a vegetação arbustiva presente, o que pode representar uma alternativa eficaz na retenção da poluição difusa advinda dos cultivos agrícolas. Além deste aspecto, as faixas vegetadas podem estar inseridas dentro da área de produção, realizando a função de terraços naturais, promovendo a redução do escoamento superficial e a retenção de nutrientes dentro da própria área fonte de poluição difusa.

A região dos Campos Gerais do Estado do Paraná é uma grande produtora de grãos e na sua maioria em sistema plantio direto. Neste sistema de preparo, ocorre uma redução no transporte de sedimento e geralmente também no volume de escoamento, entretanto, a concentração dos nutrientes presentes na superfície do solo são maiores pela não incorporação dos fertilizantes, e consequentemente o potencial de transporte de nutrientes na forma solúvel é maior (BERTOL et al, 2004). Outro fato que auxilia na contaminação dos recursos hídricos é a ausência de terraceamento agrícola. Mesmo o volume de escoamento sendo baixo, caso ele consiga chegar até as águas superficiais, os efeitos serão altamente prejudiciais ao ambiente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a retenção de nitrogênio e fósforo contido do escoamento superficial simulado em diferentes larguras de faixas vegetadas, em Cambissolo com textura franco argilo arenosa, na região dos Campos Gerais, no Estado do Paraná. A partir destes resultados espera-se definir as larguras adequadas, nesta condição experimental, que proporcione melhores retenções de nutrientes advindos de potenciais fontes poluidoras agrícolas.

4.. MATERIAL E MÉTODOS

Todas as informações sobre a caracterização da área, características físicas e químicas do solo, bem como os tratamentos e sua composição estão descritos no capítulo 1 desta dissertação.

4.1. Análises da água do escoamento superficial

Todas as informações referentes à coleta e armazenamento das amostras encontram-se descritas no capítulo 1 desta dissertação. Após o descongelamento das amostras, em parte das amostras procedeu-se a filtração utilizando uma membrana de ester de 0,45 micrometros, para a determinação dos nutrientes solúveis tanto para nitrogênio como para o fósforo. Na fração não filtrada das amostras, determinou-se os nutriente na forma total.

4.2. Determinação do nitrogênio

A determinação do nitrato ocorreu por espectrometria de ultravioleta com ácido sulfúrico a 10 % e redução com zinco metálico (HEINZMANN et al, 1984). A leitura no comprimento de onda de 220 nm sem adição de zinco metálico possibilita a determinação do NO_3^- bem como das interferências, enquanto que após a adição de zinco metálico somente são determinados os valores das interferências, e por diferença obtem-se os valores de nitrato presentes na amostra. Realizou-se a leitura das amostras primeiramente sem zinco e após adicionou-ser zinco metálico (20 mash), aguardando um período de 24 horas para a efetuação da segunda leitura. Para a leitura do nitrato, adicionou-se uma alíquota de 1 mL da amostra com uma alíquota de 0,1 mL de ácido sulfúrico, completando o volume para 5 mL com água deionizada. As amostras que extrapolaram o valor máximo da curva de calibração foram novamente preparadas, sendo então diluídas em água deionizada. O amônio foi determinado por colorimetria pelo método do fenato (APHA, 1995), a partir de 01 mL da amostra adicionando-se 0,2 ml de solução de fenol, 0,2 ml de nitroprussato e 0,5 ml da solução oxidante e completado com água, sendo este método baseado no princípio de que em meio alcalino e na presença do catalisador nitroprussiato forma-se o azul de indofenol. As leituras foram feitas com espectrofotômetro no comprimento de ondas de 640 nm. A determinação do nitrogênio total foi por meio da digestão Kjeldahl (APHA, 1995), utilizando-se 10 mL da amostra e após adicionando 5 mL da solução digestora. As amostras foram colocadas no bloco digestor a uma temperatura inicial de 100°C até evaporação da maior

parte da água da amostra. A temperatura foi aumentada de 50 em 50 °C a cada 30 minutos até atingir aproximadamente 380 °C, a qual permaneceu por no mínimo 30 minutos. Após o resfriamento as amostras foram transferidas para balões volumétricos de 25 mL, completados com água deionizada. O teor de nitrogênio total foi determinado em espectrofotômetro sob comprimento de onda de 640 nm, seguindo a mesma metodologia utilizada na determinação do amônio solúvel. Considerando que a digestão Kjeldahl não recupera o nitrogênio na forma de nitrato, o nitrogênio total foi obtido então pelo somatório entre o nitrogênio Kjeldahl e o nitrato (SHARPLEY et al., 1987). O nitrogênio particulado foi obtido por diferença entre os teores de nitrogênio Kjeldahl e amônio solúvel. A concentração média ponderada total foi calculada pelo somatório da concentração do nutriente multiplicado pelo volume coletado por data de coleta dividido pelo volume total de escoamento. A quantidade perdida total foi calculada considerando o somatório entre a concentração e o volume perdido por data de coleta.

4.3. Determinação do fósforo

O fósforo solúvel foi determinado por colorimetria sob comprimento de onda de 880 nm seguindo a metodologia do ácido ascórbico, a qual é baseada na redução do complexo fosfato molibdico de amônio ocasionada pelo ácido ascórbico na presença do antimônio, deixando as amostras com um forte tom azulado (APHA, 1995). Para a leitura do fósforo, adicionou-se uma alíquota de 1 mL da amostra, com uma alíquota de 0,8 mL de solução mistura composta por molibdato de amônio, tartarato de potássio e antimônio, ácido sulfúrico 5 N e ácido ascórbico. As amostras que extrapolaram o valor máximo da curva de calibração foram novamente preparadas, sendo então diluídas em água deionizada para nova leitura dentro do intervalo da curva de calibração. Para análise da fração total utilizou-se a digestão Kjeldahl de acordo com a recomendação de Pote & Daniel (2000) baseada na metodologia descrita em APHA (1995). A partir de 10 mL da amostra, adicionando-se 5 mL da solução digestora sendo as amostras colocadas no bloco digestor a uma temperatura inicial de 100°C até evaporação da maior parte da água da amostra. A temperatura foi aumentada de 50 em 50°C a cada 30 minutos até atingir aproximadamente 380°C, a qual permaneceu por no mínimo 30 minutos. Após o resfriamento das amostras, estas foram colocadas em balões volumétricos de 25 mL completados com água deionizada. O teor de fósforo total foi determinado, seguindo a mesma metodologia utilizada para determinar o fósforo solúvel. O fósforo na fração particulada foi obtido pela diferença entre

os teores de fósforo total e os de fósforo solúvel. O fósforo biodisponível foi determinado pelo método da membrana de filtro impregnada por óxido do ferro de acordo com Myers et al. (2000), com algumas adaptações de Sharpley et al. (1993). Depois de preparar a membrana impregnada com soluções de FeCl_3 0,65 M e NH_4OH 2,7 M, uma amostra não filtrada de 80 mL do escoamento superficial foi colocada para agitar em erlenmeyer de vidro por 16 horas em agitador constante (30 rpm) juntamente com uma membrana de filtro (aproximadamente 40 cm^2) impregnada por óxido de ferro. Posteriormente a membrana de filtro foi retirada e transferida para outro erlenmeyer contendo 50 mL de uma solução de H_2SO_4 0,2 M, agitando por 1 hora. Após a agitação, a membrana foi removida e na solução de H_2SO_4 0,2 M determinou-se a concentração de fósforo biodisponível pelo método do ácido ascórbico de acordo com APHA (1995). O fósforo biodisponível particulado foi obtido pela diferença do fósforo biodisponível e o fósforo solúvel e a fração do fósforo particulado não biodisponível através da subtração entre o fósforo particulado e o fósforo particulado biodisponível.

A concentração média ponderada foi calculada com base na concentração do nutriente encontrada em cada data de coleta nas parcelas em que houve escoamento superficial. Desta forma multiplicaram-se estes valores de concentração pelos respectivos volumes de escoamento, dividindo pelo volume total de água perdido em todo o período. A quantidade perdida foi calculada considerando a concentração e o volume perdido por data de coleta.

4.4. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e à regressão não linear múltipla. Para ajuste do modelo e análise de variância utilizou-se o software R 2.11.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2009).

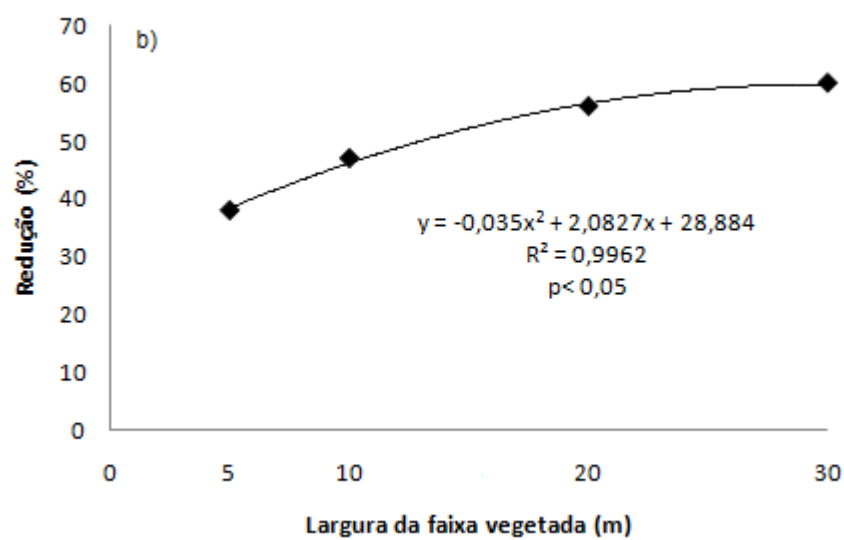
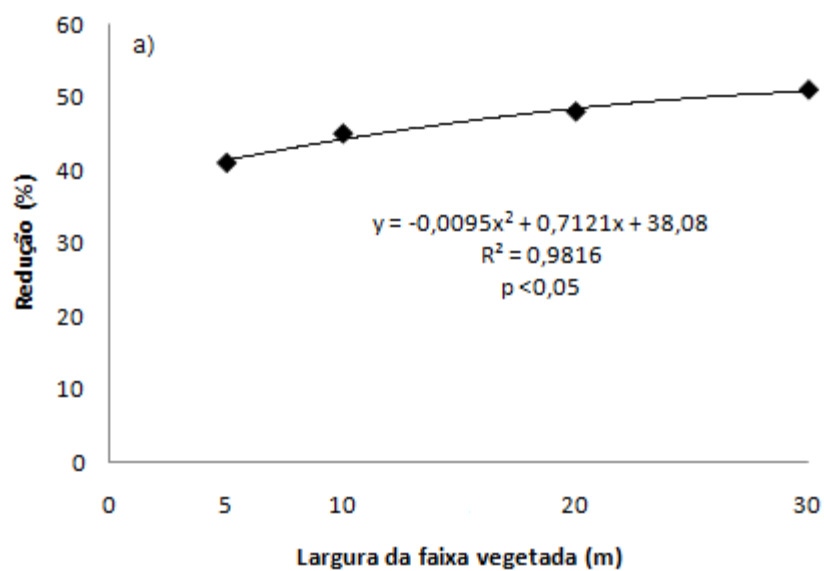
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Concentração e retenção de nitrogênio

Houve redução das concentrações médias ponderada para todas as formas de nitrogênio. A redução na concentração média ponderada de N-total ao final das duas horas de simulação para as faixas vegetadas de 30 m foi 51 %, sendo esta retenção 10 % menor nas faixas vegetadas

de 5 m de largura (FIGURA 8). Mankin et al. (2007) avaliando três tipos de vegetação em solo de textura franco-siltosa obtiveram reduções nas concentrações de 44% para o N-total. As faixas vegetadas de campo nativo de 30 m de largura reduziram em 45 % a concentração de N-NO_3^- , sendo esta redução 4 % menor nas faixas vegetadas de 5 m de largura (FIGURA 8). A concentração média ponderada de N-total foi composta em grande parte pelo nitrogênio na forma solúvel, onde o N-NO_3^- teve maior contribuição do que N-NH_4^+ , fato este que pode ter contribuído para a diminuição da capacidade das faixas vegetadas na redução das concentrações médias ponderadas de N-total. Por ser um ânion, o N-NO_3^- não é adsorvido pelas cargas negativas da superfície das partículas de sedimento, o que dificulta o processo de retenção pela deposição do sedimento como ocorre com o N-NH_4^+ . Para o N-NO_3^- , a infiltração tem um papel importante na retenção N-NO_3^- . Mendez et al. (1999) afirmam que as concentrações de N-NO_3^- não estão sujeitas a diminuição por deposição e nem por adsorção as partículas de sedimento, eles afirmam que a redução na concentração de N-NO_3^- ocorre em função do aumento do volume de escoamento superficial.

As maiores reduções nas concentrações médias ponderada foram para o N-particulado, 76 %, seguido pelo N-NH_4^+ com 60 % para as faixas vegetadas de 30 m. O N-NH_4^+ por ser um cátion é facilmente adsorvido as cargas negativas de superfície das partículas de sedimento, aumentando assim a capacidade de retenção deste elemento pelas faixas vegetadas. A concentração média ponderada de nitrogênio na forma particulada apesar de apresentar altos percentuais de retenção em relação às demais formas de nitrogênio representa muito pouco do nitrogênio total (FIGURA 8).



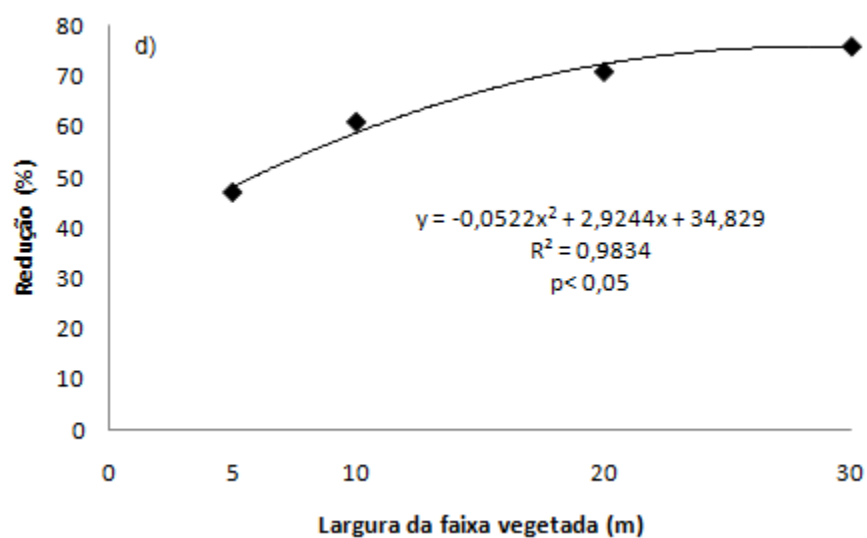
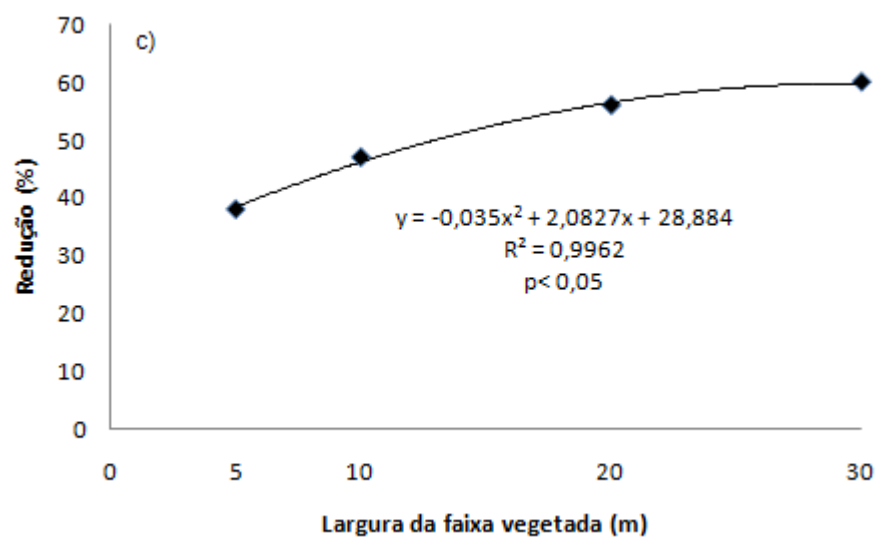
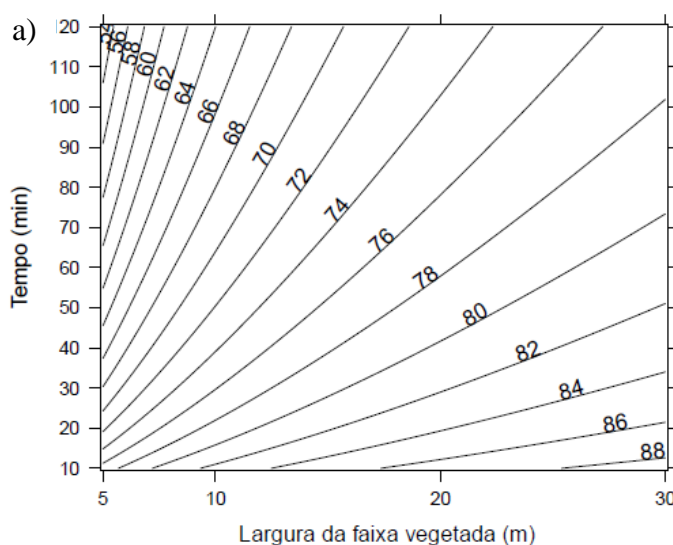


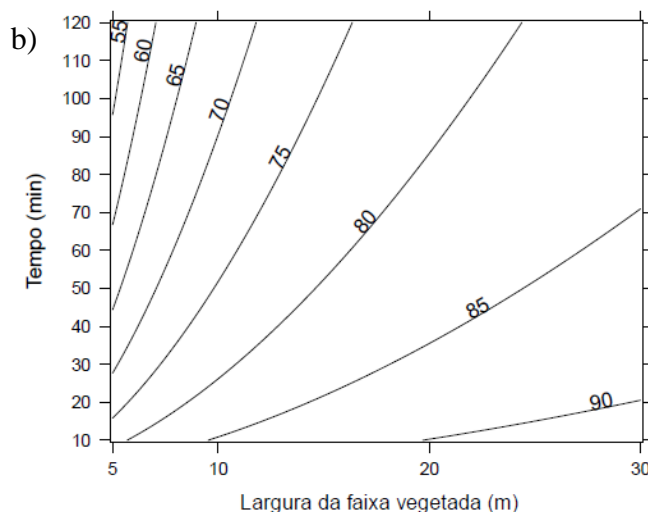
Figura 8. Redução da concentração média ponderada de N-total (a), N-NH₄⁺(b), N-NO₃⁻(c) e N-Particulado (d) em cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação.

As retenções de N-NO_3^- e N-NH_4^+ (FIGURA 9) no tempo, mostram que um gradiente de retenção inversamente proporcional entre largura de faixa vegetada e tempo de simulação, nas quais as retenções tornaram-se maiores na medida em que se aumentou a largura da faixa vegetada e diminuíram gradativamente com o passar do tempo de simulação. As retenções de N-NO_3^- para os tempos 10 e 120 minutos de simulação, por exemplo, variaram de 77 a 52 % e 89 a 77 %, respectivamente para as faixas vegetadas de 5 e 30 m de largura. Aos 60 e 120 minutos de simulação destaca-se a eficiência da faixa de 10 m com retenções do N-NO_3^- de 71 e 64 %, ou seja, apenas 10 e 13 % a menos que as faixas 30 m, porém 3 vezes menor em área. As retenções de N-NH_4^+ foram maiores que as do N-NO_3^- , fato este que pode ser explicado pela adsorção do cátion N-NH_4^+ as cargas superficiais do sedimento, enquanto que o anion N-NO_3^- é repelido por estas cargas negativas do solo. Destacou-se aqui também a eficiência da faixa vegetada de 10 m na retenção do N-NH_4^+ aos 60 e 120 minutos de simulação com percentuais de 74 e 67 %, os quais apresentaram 12 e 15 %, respectivamente de retenção a menos que a faixa de 30 m. Levando em consideração que nos maiores tempos de simulação gerou-se volume maiores de escoamento superficial, as faixas vegetadas de 30 m foram mais eficazes no processo de retenção, porém, proporcionalmente a área, as faixas de 10 m foram altamente eficientes.



$$\text{Retenção de N-NO}_3^-(\%) = 100 - \left[\{11,634 \cdot (t)^{0,695} \cdot (t.f)^{-0,405}\} / 51,08 \right]$$

$$R^2 = 0,888 \quad p \text{ valor} < 0,05$$



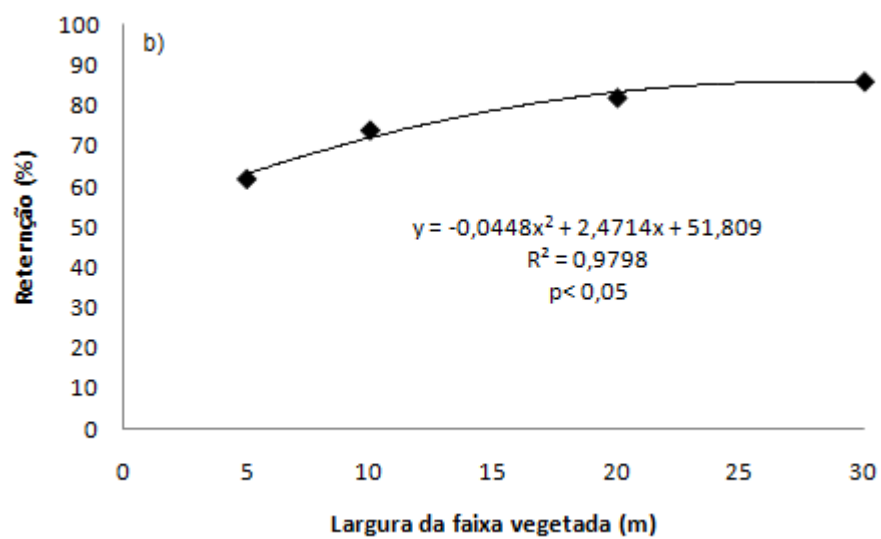
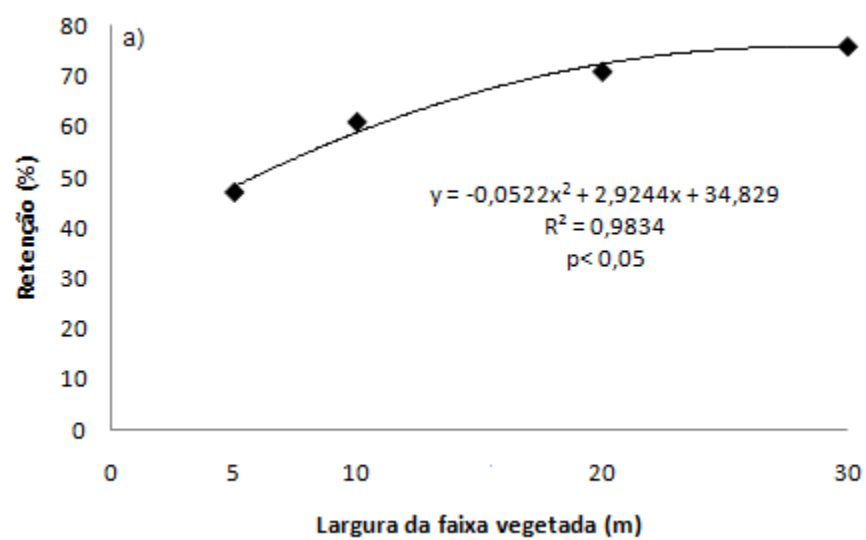
$$\text{Retenção de N-NH}_4^+(\%) = 100 - \left[\{3,06 \cdot (t)^{0,885} \cdot (t \cdot f)^{-0,558}\} / 12,3 \right]$$

$$R^2 = 0,846 \quad p \text{ valor} < 0,05$$

Figura 9. Retenção de N-NO_3^- (a) e de N-NH_4^+ (b) em cada largura de faixa vegetada de campo nativo em cada tempo de coleta, onde, f = faixa vegetada e t = tempo de coleta.

Em média, 92 % do N-total retido esteve na forma solúvel, sendo 18 % na forma de N-NH_4^+ e 74 % como N-NO_3^- . Já o N-particulado teve uma pequena contribuição na retenção do N-total (apenas de 8 % do total acumulado). A grande presença da fração solúvel na composição do N-total, sendo principalmente o N-NO_3^- , ocorreu pela alta concentração de nitrato ($170,3 \text{ mg L}^{-1}$) adicionada no escoamento superficial simulado.

A retenção acumulada do N-total foi maior na faixa vegetada de 30 m de largura, todavia, a faixa vegetada de 10 m de largura proporcionou uma retenção de 72 % (11 % a menos em relação as faixas de 30 m) (FIGURA 10a). Lee et al. (2000) obtiveram resultados semelhantes, avaliando a capacidade de diferentes espécies de vegetação ciliar na retenção de nutrientes aplicou uma chuva simulada de duas horas, com uma lamina de 25 mm h^{-1} . Com faixas vegetadas de *Panicum virgatum* cv. de 7 e 16 m de largura, associadas com vegetação ciliar lenhosa e não lenhosa, as retenções de N-total e do N-NO_3^- foram acima de 60% com maior eficiência na faixa vegetada com gramínea associada a vegetação ciliar lenhosa.



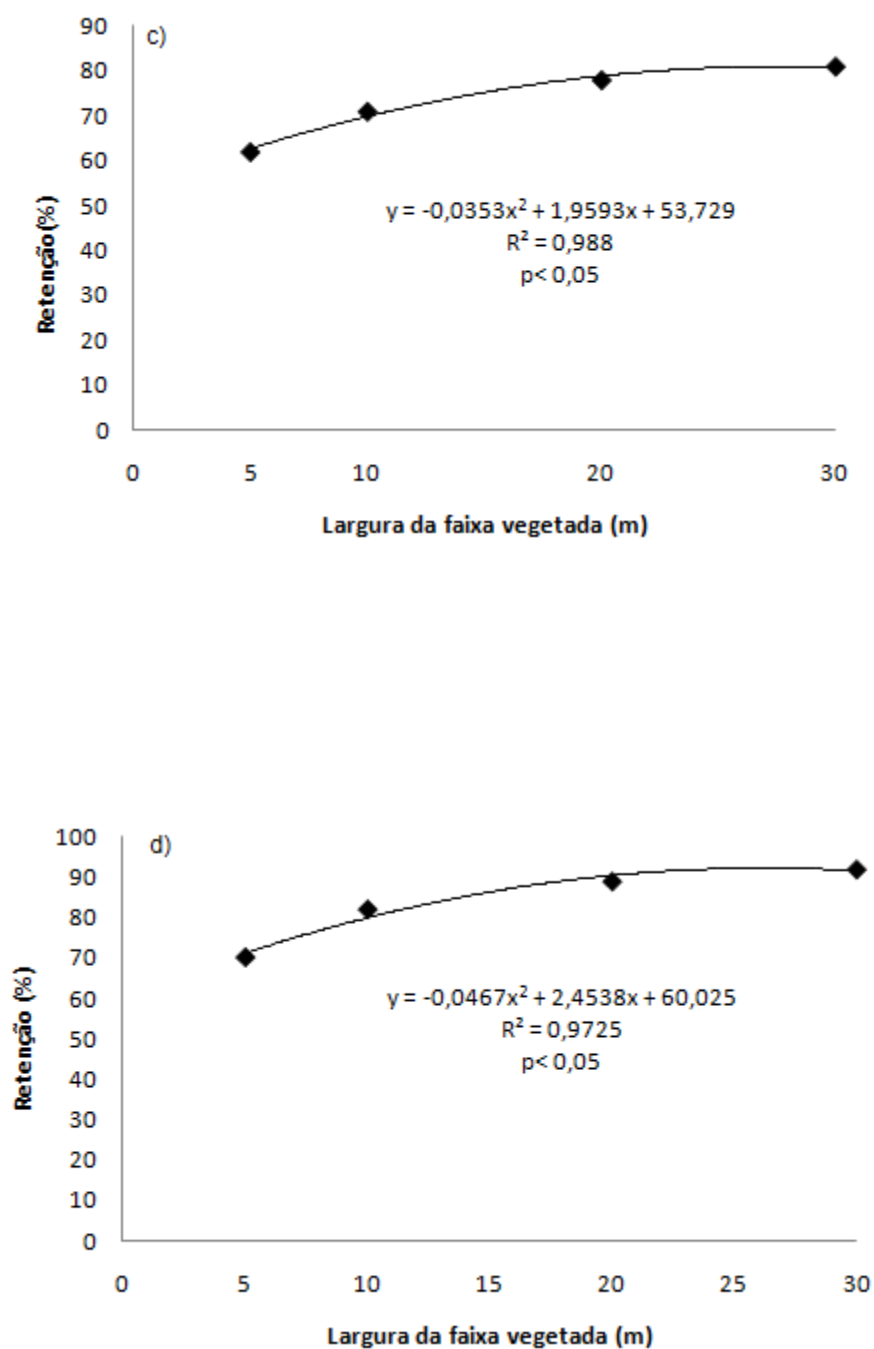


Figura 10. Retenção acumulada de N-Total (a), N-NH₄⁺ (b), N-NO₃⁻ (c) e N-Particulado (d) para cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação.

O N-NH_4^+ e o N-particulado também apresentaram maiores valores de retenção para a faixa vegetada de 30 m de largura. A retenção do N-NH_4^+ pode ter sido influenciado pela deposição do sedimento que ocorreu pela infiltração da água do escoamento superficial e também pela barreira física exercida pela faixa vegetada. Frede et al. (1994) trabalhando com faixas vegetadas na retenção de nutriente solúveis contidos no escoamento superficial na bacia do rio Lahn, obtiveram resultado semelhantes com retenções de 72 e 83 % do escoamento superficial para N-NO_3^- e N-NH_4^+ , respectivamente. De uma maneira geral, as retenções acumuladas para todas as formas de nitrogênio foram maiores para as faixas vegetadas de 30 m. O N-particulado e o N-NH_4^+ apresentaram as maiores retenções, confirmando o resultado das maiores retenções de sedimento. Mesmo havendo altas concentrações de N-NO_3^- , as retenções obtidas pelas faixas vegetadas foram satisfatórias. Observando a variação das retenções obtidas para todas as larguras de faixas vegetadas pode-se verificar que a faixa vegetada de 10 m de largura com uma retenção média de 74,7 % foi eficiente na retenção do nitrogênio contido no escoamento superficial.

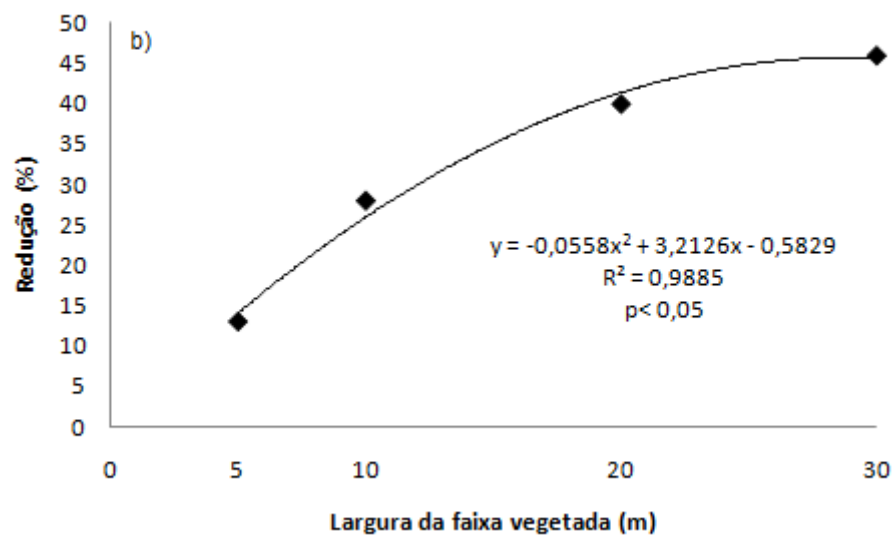
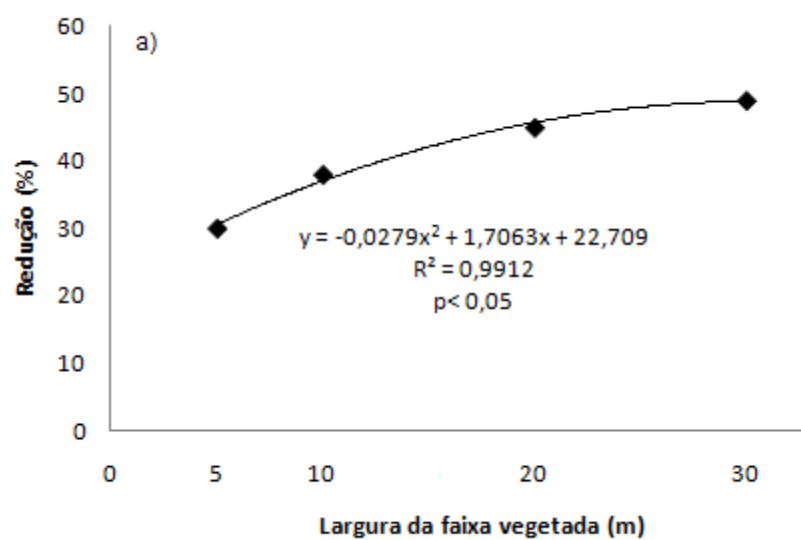
5.2. Concentração e retenção de fósforo

As concentrações médias ponderadas de P-total e P-biodisponível apresentaram comportamentos semelhantes, demonstrando uma tendência de redução da concentração na medida em que a largura da faixa vegetada aumentou. A redução na concentração do P-total foi maior na faixa vegetada de 30 m de largura (FIGURA 11a), sendo, 19 % maior que na faixa vegetada de 5 m de largura. Observou-se também que a concentração do P-total foi composta de maneira equivalente pelo P-solúvel e pelo P-particulado, sendo que as maiores reduções ocorreram na faixa vegetada de 30 m de largura. O P-particulado, por estar provavelmente associado às partículas retidas de sedimento, apresentou as maiores reduções em todas as larguras de faixas vegetadas em relação às outras formas de fósforo estudadas. Mankin et al. (2007) trabalhando em solo de textura franco-siltosa com escoamento superficial simulado obtiveram reduções médias na concentração de 43 % para P-total, reduções estas que segundo os autores também estão associadas a redução na concentração de sedimento e ao processo de infiltração. Observou-se uma baixa capacidade de redução da concentração de P-solúvel contido no escoamento superficial pela faixa vegetada de 5 m de largura. O P-solúvel, juntamente com P-biodisponível tem grande contribuição nos impactos que o escoamento advindo de áreas

agrícolas pode causar a qualidade das águas superficiais. Esta baixa retenção de P-solúvel pode ser explicada pela deficiência da própria faixa vegetada de 5 m de largura em exercer sua capacidade de filtro, e também pela presença de uma lamina de água de 360 mm h^{-1} , que em função da menor área pode ter reduzido a capacidade de infiltração mais rapidamente, diminuindo assim o potencial de redução.

O P-solúvel e parte do P-particulado representa o P-biodisponível, que é a fração de alto potencial de poluição das águas superficiais em curto prazo (SHARPLEY et al., 1995). Esta fração de fósforo apresentou redução na concentração semelhante ao P-total. Isto pode ser explicado em parte pela retenção do sedimento no qual o P-biodisponível poderia ter sido adsorvido. Outro aspecto relevante é a boa estrutura do solo onde estão situadas as faixas vegetadas de campo nativo, que apresentou baixa densidade de solo, boa macroporosidade e índice de estabilidade agregados próximos a 1 na camada de 0-5 cm (TABELA 1). Esses dados reforçam a probabilidade de infiltração do escoamento superficial do solo sob as faixas vegetadas, reduzindo assim, a capacidade de transporte dos nutrientes. Já para o P-particulado, verificou-se um leve acréscimo na redução com o aumento da largura das faixas vegetadas, comportamento este que pode ser explicado pela redução obtida na concentração de sedimento (FIGURA 5).

Observou-se redução na concentração média ponderada de P-total (de $62,7 \text{ mg L}^{-1}$ para 32 mg L^{-1} na faixa de 10m), entretanto, as concentrações presentes no escoamento superficial após passar por todas as larguras de faixas vegetadas ainda continuam acima dos valores permitidos pela legislação ($0,1 \text{ mg L}^{-1}$ em ambiente lótico), segundo a resolução do CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).



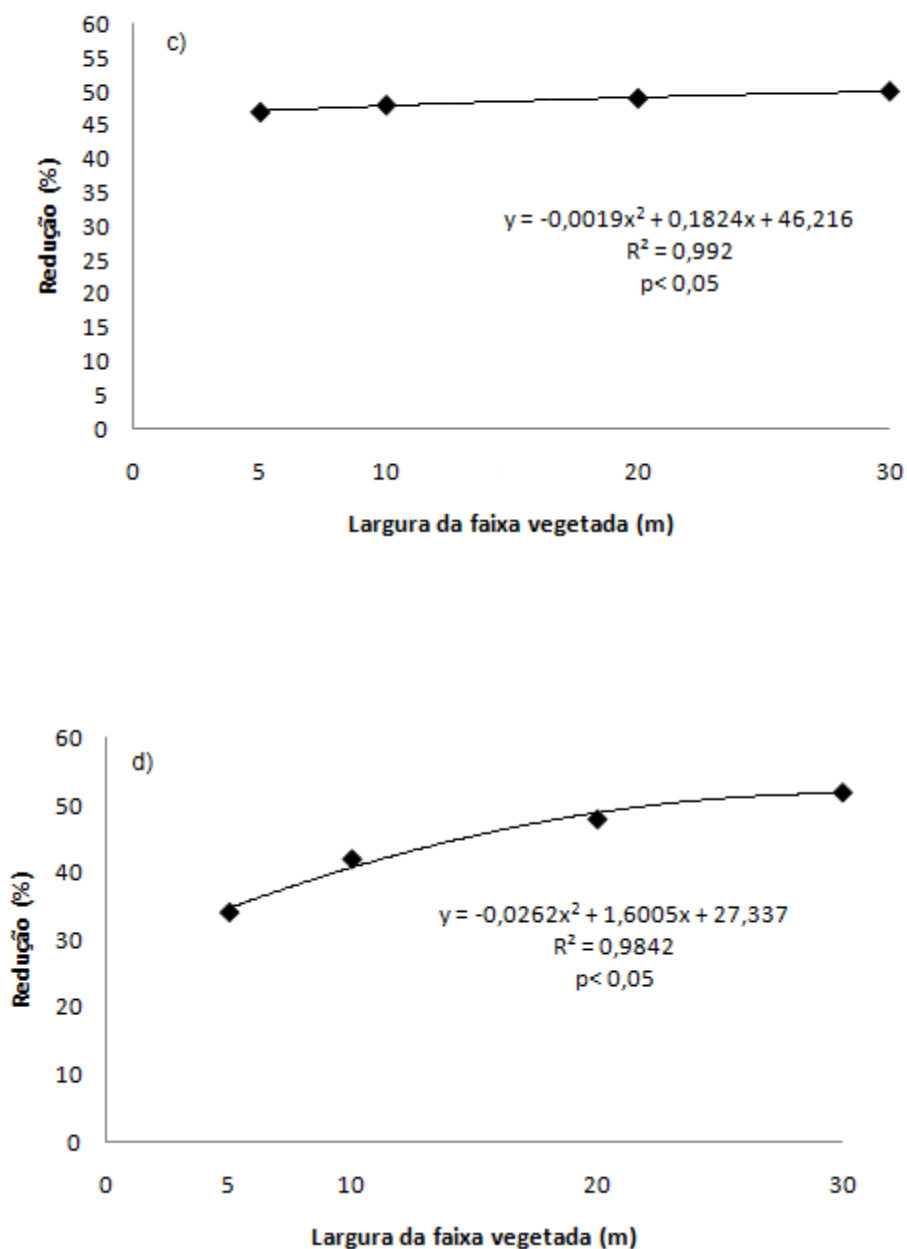


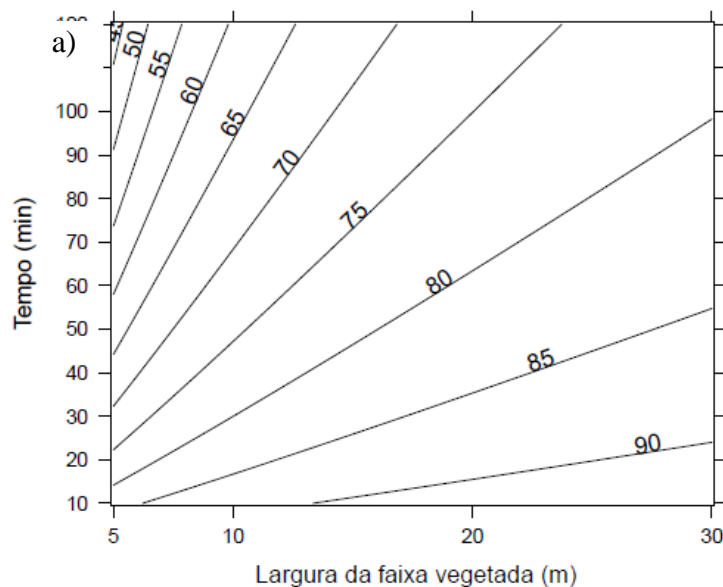
Figura 11. Redução da concentração média ponderada de P-total (a), P-solúvel (b), P-particulado (c) e P-biodisponível (d) em cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação.

A retenção de P-total e P-solúvel em cada tempo simulado (FIGURA 12) seguiu a mesma tendência do nitrogênio, ou seja, retenções maiores na medida em que se aumentou a largura da

faixa vegetada, diminuindo com o aumento do tempo de simulação. As retenções de P-total para os tempos 10 e 120 minutos de simulação variaram de 83 a 43 % e 94 a 78 %, respectivamente para as faixas vegetadas de 5 e 30 m de largura. Para os 60 e 120 minutos de simulação, pode-se destacar que as faixas vegetadas de campo nativo de 10 m demonstraram-se eficientes com retenções de P-total de 72 e 61 %, 22 % menores aos 60 minutos e 17 % menores aos 120 minutos, em relação às faixas 30 m..

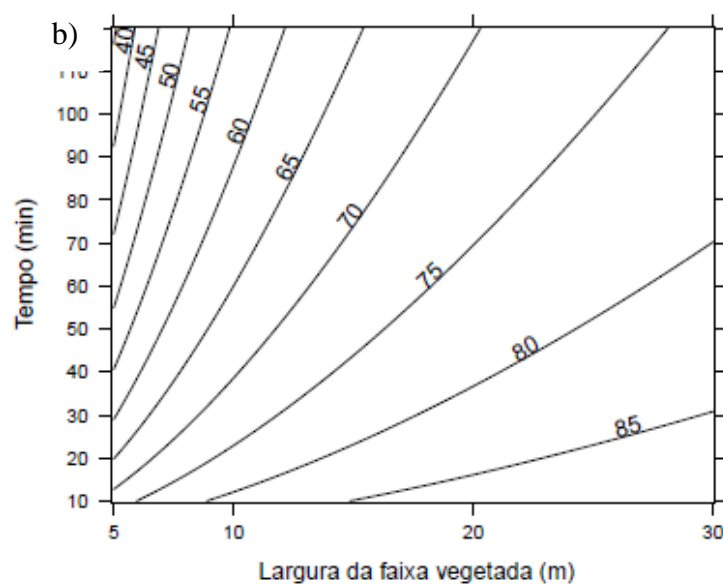
Verificou-se que as retenções no tempo para P-solúvel, mesmo apresentando a mesma tendência foram menores em relação ao P-total. Isto pode ter ocorrido pela presença da fração particulada na composição do P-total, que por estar adsorvido as partículas de sedimento é mais facilmente retido pela ação de barreira física das faixas vegetadas. As retenções de P-solúvel para os tempos 10 e 120 minutos de simulação variaram de 72 a 34 % e 90 a 76 %, respectivamente, para as faixas vegetadas de 5 e 30 m de largura. Aos 60 e 120 minutos de simulação as faixas vegetadas de 10 m de largura apresentaram retenções acima de 50 % para o P-solúvel, destacando-se como boa alternativa na retenção das formas solúveis de fósforo.

Alem da largura de faixa vegetada e tempo de simulação deve-se considerar outros fatores como classe de solo, tipo de vegetação, comprimento e forma de rampa e volume de escoamento superficial. Considerando somente que os maiores tempos de simulação geram um maior volume de escoamento superficial, as faixas vegetadas de 30 m foram mais adequadas, entretanto se observarmos o ganho na retenção em proporcionalidade, as faixas de 10 m foram também se mostraram eficientes. Com tempo médio de passagem do escoamento superficial de 46 minutos, as faixas vegetadas de 10 m podem ser recomendadas para a retenção de P-totale P-solúvel.



$$\text{Retenção de P-total}(\%)^{(1)} = 100 - \left[\{2,40 \cdot (t)^{1,023} \cdot (t \cdot f)^{-0,532}\} / 18,8 \right]$$

$$R^2=0,918 \quad p \text{ valor} < 0,05$$

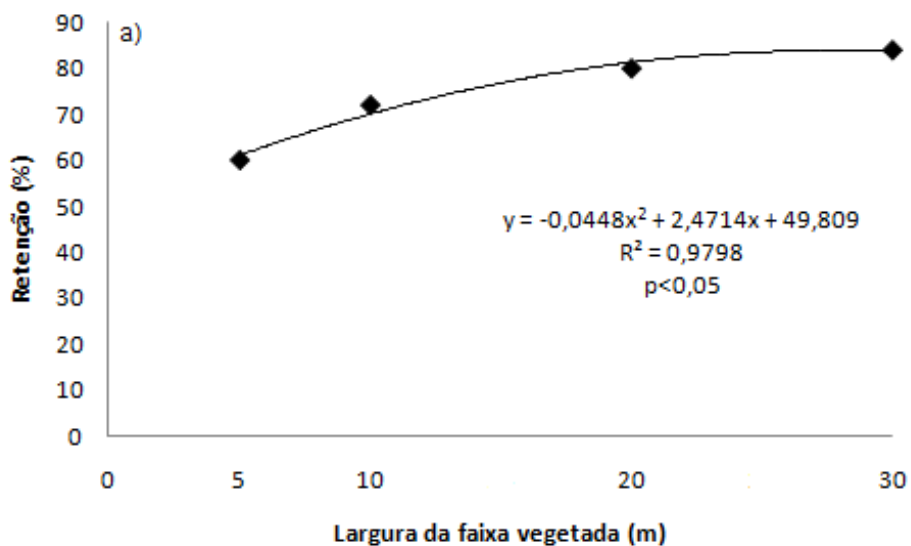


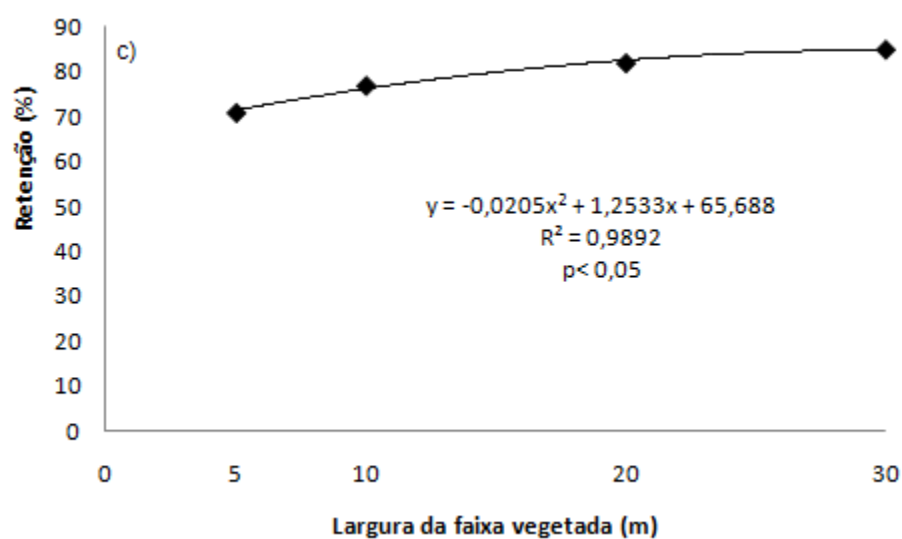
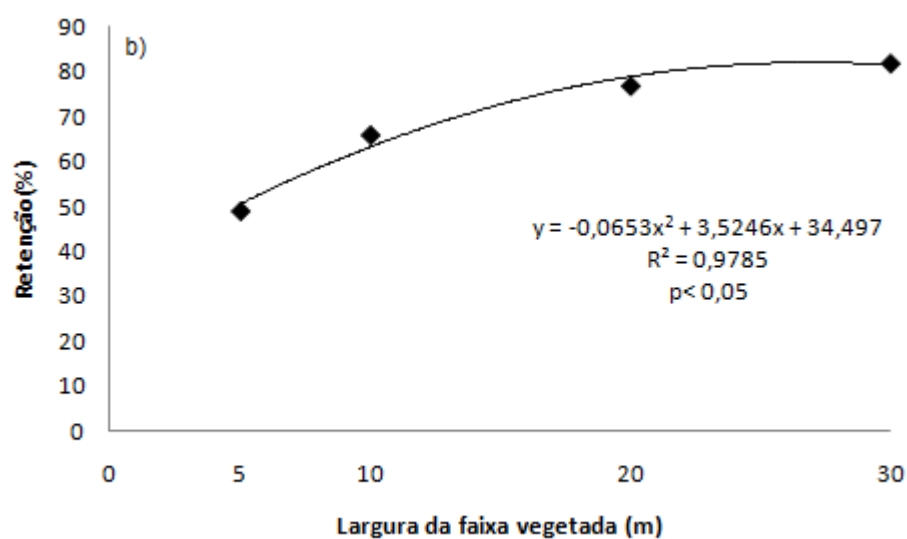
$$\text{Retenção de P-Solúvel}(\%)^{(2)} = 100 - \left[\{2,864 \cdot (t)^{0,909} \cdot (t \cdot f)^{-0,559}\} / 9,43 \right]$$

$$R^2=0,879 \quad p \text{ valor} < 0,05$$

Figura 12. Retenção no tempo de P-total (a) e de P-solúvel (b) em cada largura de faixa vegetada de campo nativo, em cada tempo de coleta, onde: f = faixa vegetada e t = tempo de coleta.

As retenções acumuladas obtidas para o P-particulado, P-biodisponível e P-total (Figura 13) apresentaram percentuais de retenções acumuladas semelhantes às retenções obtidas para sedimento acumulado (FIGURA 5). A fração do P-biodisponível que é a composta pelo P-solúvel mais a fração disponível do P-particulado teve comportamento semelhante ao P-total. Tendo em vista que a maior redução na concentração de sedimento foi de 54 % (FIGURA 5). A redução nas diferentes frações de fósforo podem ter tido influência da retenção de água (FIGURA 4). Mankin et al. (2007) trabalhando com escoamento superficial em faixas com três tipos de vegetação e larguras que variam 8,3 a 16,1 obtiveram retenções de P-total de 92 %. Estes autores afirmar que a redução do volume de escoamento foi muito importante na retenção de fósforo, já que as reduções nas concentrações por eles obtidas foram de 43 %. Schmitt et al. (1999), avaliando o desempenho de diversos tipos e larguras de faixas vegetadas reduziram as perdas de P-total de 55% a 79%, e de P-solúvel de 19% a 43%.





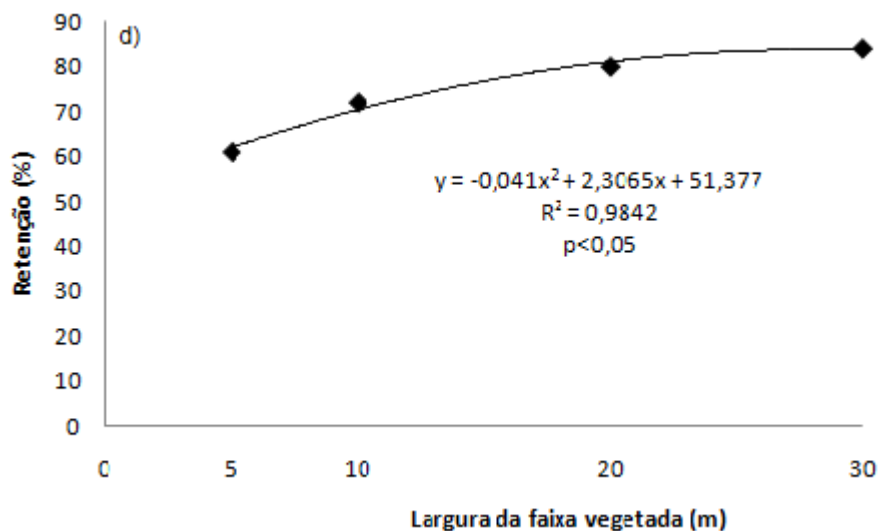


Figura 13. Retenção acumulada de P-Total (a), P-solúvel (b), P-particulado (c) e P-biodisponível (d), para cada largura de faixa vegetada de campo nativo a partir do início da coleta para as duas horas de simulação

A retenção obtida pelas faixas vegetadas de campo nativo demonstra que a faixa vegetada de 30 m tem realmente maior potencial de retenção, entretanto pode-se trabalhar com larguras intermediárias como as faixas vegetadas de 10 m, que apresentaram em média 72 % de retenção acumulada para todas as formas de fósforo, 12 % a mais que as faixas de 5 m de largura e 11,7 % a menos que as faixas de 30 m de largura. Além dessa eficiência na retenção, as faixas de 10 m terão maior potencial de aceitabilidade por parte do produtor por usar apenas um terço (1/3) da área.

6. CONCLUSÕES

As maiores reduções nas concentrações médias ponderadas de nitrogênio (76 %) e de fósforo (52 %) ocorreram nas faixas vegetadas de 30 m de largura, da mesma forma que a retenção acumulada de nitrogênio (92 %) e de fósforo (85 %), entretanto, deve-se ressaltar a

eficácia da faixa de 10 m com retenção acumulada de até 82 % e 77 % para nitrogênio e fósforo, respectivamente, com o uso de um terço ($1/3$) da área em relação a faixa de 30 m.

As faixas vegetadas de campo nativo proporcionaram boas retenções dos nutrientes presentes no escoamento superficial simulado, sendo assim, consideradas como uma alternativa viável dentro das melhores práticas de manejo para a mitigação dos impactos causados aos cursos d'água por escoamento superficial advindos de áreas agrícolas.

7. LITERATURA CITADA

ABU-ZREIG, M., RUDRA, P.R. AND DICKINSON, T.W. Effect of application of surfactants on hydraulic properties of soils. **Biosystems Engineering**, p.363-372, 2003.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th edition. Washington: American Public Health Association, Washington, D.C. p. 1268, 1995.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C.; RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II perdas de nutrientes e carbono e orgânico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 28:1045-1054, 2004.

BRASIL - Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº357. Diário Oficial da União de 18/03/2005. Brasília, 2005.

CORRELL, D. L. The role of phosphorus in the eutrofication of receiving waters. **Journal of Environmental Quality**, Madison, Wis., 27:261-266, 1998.

DANIEL, T. C.; SHARPLEY, A. N.; LEMUNYON, J. L. Agricultural phosphorus and eutrofication: a symposium overview. **Journal of Environmental Quality**, Madison, Wis., 27:251-257, 1998.

DINNES, D. L.; KARLEN, D. L.; JAYNES, D. B.; KASPAR, T. C.; HATFIELD, J. L.; COLVIN, T. S.; CAMBARDELLA, C. A. nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained midwestern soils. **Agronomy Journal**, 94:153-171, 2002.

FAVARETTO, N. **Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium related to water quality and plant nutrition**. Tese (Doctor of Philosophy) - Faculty of Purdue University, Indiana, 2002.

FREDE, H. G., FABIS, J., BACH, M. Nutrient and sediment removal in vegetative filter strips of hilly areas. Nährstoff- und Sedimentretention in Uferstreifen des Mittelgebirgsraumes. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung. 35:165-173, 1994.

GOMES, E. S.; SAMPAIO, S. C.; CORREA, M. M.; BOAS, M. V.; ALVES, L. F. A.; SOBRINHO, T. Movimento de nitrato proveniente de água residuária em colunas de solos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 24:557-568, 2004.

HEINZMANN, F. X.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M. A. Determinação de nitrato por espectrofotometria de absorção ultravioleta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8:159-163, 1984.

MAIA, C. E.; CANTARUTTI, R. B. Acumulação de nitrogênio e carbono no solo pela Engenharia Agrícola e Ambiental, 8:9-44, 2004.

MENDEZ, A., DILLAHA, T. A. AND MOSTAGHIMI, S. Sediment and nitrogen transport in grass filter strips. **Journal of the American Water Resources Association**, 35:4, 1999.

MYERS, R.G.; PIERZYNSKI G. M. Using the iron method to estimate bioavailable phosphorus in runoff In: PIERZYNSKI G. M. Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters. Southern Cooperative Series Bulletin n°. 396 June, 2000. Disponível em: http://www.sera17.ext.vt.edu/Documents/Methods_of_P_Analysis_2000.pdf, acesso em 07/08/2009.

NETO, J. J.; GOI, S.R.; SPRENT, J. I. Efeito de diferentes formas de nitrogênio na nodulação e crescimento de *Acacia mangium*. **Floresta Ambiente**, 5:104-110, 1998.

NÚÑEZ, J.E.V.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N. Consequências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um argissolo. Bragantia: **Revista de Ciências Agrônômicas**, Campinas, 62:101-109, 2003.

R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, 2009. Disponível em: URL <http://www.R-project.org>. Acesso em 10/03/2009.

SCHMITT, T.J., DOSSKEY, M.G., Hoagland, K.D. Filter strip performance and processes for different vegetation, widths and contaminants. **Journal of Environmental Quality**, 28:1479-1489, 1999.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21: 287-291, 1997.

SHARPLEY, A. N. & MENZEL, R. G. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. **Advances in Agronomy**, 41:297-324, 1987.

SHARPLEY, A.N.; CHAPRA, S.C.; WEDEPOHL, R.; SIMS, J.T.; DANIEL, T.C.; REDDY, K.R. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. **Journal of Environmental Quality**, 23:437-451, 1994.

SHARPLEY, A.N.; SMITH, S.J.; JONES, O.R.; BERG, W.A. & COLEMAN, G.A. The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. **Journal of Environmental Quality**, 21:30-35, 1992.

SHARPLEY, A.N; ROBINSON, S.J.; SMITH, S.J. Bioavailable phosphorus dynamics in agricultural soils and effects on water quality. **Science of the Total Environment**. Geoderma 67:1-15, 1995.

SMITH, S. J.; SCHEEPERS, J. S.; PORTER, L. K. Assessing and managing agricultural nitrogen losses to the environment. In: Lal, R.; Stewart, B. A. (Eds.). **Advances in soil science**, Chelsea, Lewis Publishers, p.398, 1990,

CAPITULO 5 – CONCLUSÃO GERAL

As maiores retenções acumuladas de água (66 %) e de sedimento (84 %) foram obtidas pela faixa vegetada de campo nativo de 30 m de largura. No entanto, a faixa vegetada de 10 m de largura foi altamente eficiente, proporcionando uma retenção acumulada de 50 e 75 % de água e sedimento, respectivamente, valores próximos aos obtidos pela faixa de 30 m.

As maiores reduções nas concentrações médias ponderadas de nitrogênio (76 %) e de fósforo (52 %) ocorreram nas faixas vegetadas de 30 m de largura, da mesma forma que a retenção acumulada de nitrogênio (92 %) e de fósforo (85 %), entretanto, deve-se ressaltar a eficácia da faixa de 10 m com retenção acumulada de até 82 % e 77 % para nitrogênio e fósforo, respectivamente, com o uso de um terço ($1/3$) da área em relação a faixa de 30 m.

As faixas vegetadas de campo nativo proporcionaram boas retenções de água, sedimento e nutrientes presentes no escoamento superficial simulado, sendo assim, consideradas como uma alternativa viável dentro das melhores práticas de manejo para a mitigação dos impactos causados aos cursos d'água por escoamento superficial advindos de áreas agrícolas. Deve-se considerar também, que a faixa de 10 m de largura, pela sua elevada eficiência, aliada a economia de área agrícola, apresenta um maior potencial de aceitação junto aos produtores rurais, facilitando a difusão desta prática conservacionista na agricultura.